

Masteroppgave i geofag

# Evaluering av "metode for risikoklassifisering av kvikkleiresoner"

Trond Vernang



**UNIVERSITETET I OSLO**

**DET MATEMATISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET**

Blank side ved dobbelsidig papirkopi, fjernes ved  
enkelsidig kopi eller digital publisering

# **Evaluering av ”metode for risiko- klassifisering av kvikkleiresoner”**

**Trond Vernang**



Masteroppgave i geofag

Studieretning: Miljøgeologi og naturkatastrofer

Institutt for geofag

Matematisk-naturvitenskaplig fakultet

**UNIVERSITETET I OSLO**

Juni 2005

© **Trond Vernang, 2005**

Veiledere: Kaare Høeg ved UiO og Odd Gregersen ved Norges Geotekniske Institutt (NGI)

Dette eksamensarbeidet er publisert elektronisk i DUO – Digitale Utgivelser ved UiO

<http://www.duo.uio.no>

Det er også katalogisert i BIBSYS (<http://www.bibsys.no/>)

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted, in any form or by any means, without permission.



## Sammendrag

Norges Geotekniske Institutt (NGI) har, på oppdrag fra Norges Vassdrags og Energidirektorat (NVE) inndelt kvikkleiresoner i fem risikoklasser basert på en evaluering av ”skadekonsekvens” og ”faregrad”. Det er i denne masteroppgaven sammenstilt resultater fra faregradsevaluering utarbeidet av NGI og konkrete stabilitetsberegninger for 33 av de 47 sonene i Rømuavassdraget på Romerike.

Det har vært ønskelig å finne en sammenheng mellom vurdert faregrad for en sone og beregningsmessig sikkerhetsfaktor for den samme sonen. Dette forholdet har blitt utprøvd i oppgaven, og resultater tyder på at det er en tilsynelatende korrelasjon.

Det er også utført en sammenstilling mellom effekten av stabiliserende sikringstiltak med hensyn til faregrad og beregningsmessig sikkerhet for 9 av de 47 sonene. Fra resultater i Slope W er det etter alt å dømme en sammenheng mellom størrelse på inngrepet og endring i sikkerhetsfaktoren.

Et siste mål for oppgaven har vært å vurdere 8 gamle godt dokumenterte skred. Skredene er fremstilt i faregradsevaluering for å teste hvordan dagens NGI metodikk vil klassifisere områdene. 6 av de 8 skredområdene kommer i fareklasse ”høy”, mens 2 skred får høyeste score i faregradklasse ”middels”. 2 av skredene kommer også i de høyeste risikoklassene (4 og 5). Det ville trolig bli satt i verk sikringstiltak eller supplerende undersøkelser, i første omgang, for disse områdene, i dagens situasjon.

Risikoanalyser har vist seg å være et viktig og godt redskap for å kunne anvende ressurser på riktige områder. NGIs metodikk er et nyttig verktøy som gjør det enklere å bestemme hvor ressurser skal benyttes.

## Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført i løpet av vårsemesteret 2005. Oppdragsgiver har vært Norges Geotekniske Institutt, og arbeidet har bestått av å evaluere NGIs metode for klassifisering av kvikkleiresoner. Risikoklassifiseringen utarbeidet ved NGI er viktig for fremtidige sikringstiltak for å oppnå et sikrere samfunn, og jeg håper denne masteroppgaven vil bidra til inspirasjon og videreutvikling av dette arbeidet.

I hovedsak vil prosjektmedarbeidere involvert i NGIs kvikkleireprosjekt ha nytte av arbeidet utført i denne oppgaven.

Flere personer har vært behjelpelige i forbindelse med oppgaven og jeg vil herved rette en stor takk til min veileder Professor Kaare Høeg for god og solid veiledning, samt for mange gode ideer underveis. En spesiell takk går til Odd Gregersen ved NGI for inspirerende samtaler, viktige belysninger og nyttige korrigeringer i arbeidet med oppgaven.

En stor takk går også til NGIs landgeoteknikkavdeling for bistand ved spørsmål og utfordrende problemstillinger.

Til slutt vil jeg takke NGI for deres disposisjon av fasiliteter som lokaler, utstyr, programvare og faglitteratur.

Trond Vernang

Oslo, juni 2005



Det eneste vi vet med sikkerhet er at alt er usikkert.

*Francois de Voltaire*  
1694-1778

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag	i
Forord	ii
Innholdsfortegnelse	1
Figurer	2
Tabeller	5
Kapittel 1. Introduksjon og formål	6
1.1 Undersøkellesområdet: Rømuavassdraget på Romerike	7
1.2 Rømuavassdragets 47 soner	8
1.3 Kvartærgeologien på Romerike	10
1.4 Kvikkleiredannelse	11
1.5 Sensitivitet	17
1.6 Kvikkleireskred på Romerike	18
1.6.1 Historiske skredhendelser på Romerike	24
Kapittel 2. NGI's klassifiseringssystem for kvikkleiresoner	26
2.1 Konsekvensevaluering av kvikkleiresoner	28
2.1.1 Forslag til endringer i konsekvensevalueringen	30
2.1.2 Metoder benyttet i konsekvensevaluering	32
2.2 Faregradsevaluering av kvikkleiresoner	32
2.3 Risikoklasser for kvikkleiresoner	35
2.4 Offentliggjøring av evalueringer	38
Kapittel 3. Sammenstilling mellom beregnet sikkerhetsfaktor og faregrad	40
3.1 Metoder	41
3.1.1 Geoslope W	41
3.2 Evaluering av faregrad	41
3.2.1 Antagelser gjort i Slope W- beregningene	42
3.2.2 Resultater fra Slope W- beregninger	44
3.2.3 Resultat av sammenstillingen mellom Sikkerhetsfaktor og Faregrad	48
3.2.4 Usikkerhet ved data	51
3.2.5 Effekten av stabiliserende tiltak på faregrad og beregnet sikkerhetsfaktor	57
3.2.6 Evaluering av gamle skred med hensyn på faregrad	65
Kapittel 4. Konklusjon og anbefalinger	76
Referanser	78
 Vedlegg A: Faregradsevalueringsskjemaer av sonene i Rømuavassdraget på Romerike	
Vedlegg B: Faregradsevalueringsskjemaer av gamle skred	

## Figurer

Forsidebilde: Kvikkleireskred fra Trøgstad i 1967. [www.ngi.no](http://www.ngi.no)

Figur 1: Akershus og Romerike, med inndeling av Ullensaker og Sørums kommuner. ....	7
Figur 2: Rømuavassdraget og dets 29 opprinnelige soner. Tykk rød strek indikerer vassdragets avgrensning. Tynne røde strekene indikerer ny oppdeling som har ført til dagens 47 soner. Referanse til kart: (Fet, 1914 I, UTM PM 234 526 og Ullensaker, 1915 II, UTM PM 253 653) .....	9
Figur 3: Skjematisk profil N-S av "Romeriksfjorden" slik forholdene antagelig var den gang isen stod ved Hauer seter, og Romerikes marine leirer ble avsatt (Løken m.fl., 1970). ....	10
Figur 4: Korthusstruktur i marin leire. Åpen, men stabil mineralkornstruktur. Strukturen er stabil fordi saltet i porevannet gir mineralkornene elektrokjemiske bindingskrefter i kontaktpunktene (Jensen m.fl., 2004). ....	12
Figur 5 a-c: (Jensen m.fl., 2004) .....	13
Figur 6: Prinsipper for kvikkleiredannelse (Rankka, 2003) etter (Brenner m.fl., 1981). ....	13
Figur 7: Typiske kvikkleirforekomster inn mot en dalside og under en terrasse. Pilene viser grunnvannets strømming gjennom oppsprukket berg og løsmasser (Løken, 1983). ....	14
Figur 8: Profil av en stabil leirskråning vis-à-vis kvikkleireskredet på Borgen i Ullensaker som viser vingebor-skjærfasthet ( $s_u$ ) og spesifikk elektrisk motstand ( $\rho$ ), (Løken, 1967). ....	15
Figur 9: Forandring i vanninnhold, sensitivitet og udrenert skjærstyrke ved forandring av porevannets saltkonsentrasjon (Bjerrum, 1954). ....	16
Figur 10: Prøve av uforstyrret kvikkleire belastet med vekter. Prøven bærer uten problemer en belastning tilsvarende ca. 15 kPa (Jensen m.fl., 2004). ....	17
Figur 11: Omrørt kvikkleire: Prøven fra Figur 10 er omrørt for å illustrere effekten av et brudd i leiren. Prøven blir flytende og har bare en brøkdel av bæreevnen i uforstyrret tilstand (Jensen m.fl., 2004). ....	18
Figur 12: Lengdeprofil av Hynnavassdraget, "nedre seksjon", "midtre seksjon" og "øvre seksjon" (Bjerrum m.fl., 1969). ....	20
Figur 13: Kart over Hynnavassdraget (Bjerrum m.fl., 1969): .....	21
Figur 14: Skjematisk utvikling av Borgenskredet: .....	22
Figur 15: Borgenskredet på Ullensaker 23.12.1953, viser pæreformet skredgrop. ....	23
Figur 16: Profiler på tvers av Rømu, Glomma og Vorma. Tykk strek markerer dagens overflate, tynn strek sannsynlig overflate før skred. Langs Rømuavassdraget må massene være fjernet ved skred. Det innfelte kartet gir lokalisering av profilene (Longva, 1987). ....	25
Figur 17: Inndeling av konsekvensklasser (Gregersen, 2002). ....	29
Figur 18: Profil som viser mulig feiltolkning i konsekvensevalueringen. ....	30
Figur 19: Inndeling av faregradsklasser (Gregersen, 2002). ....	33
Figur 20: Inndeling av risikoklasser (Gregersen, 2002). ....	36
Figur 21: Risikokart over Rømuavassdraget på Romerike. ....	37

Figur 22 a,b: Faresonekartlegging på Romerike. Deler av Ullensaker og Sørums kommuner er med i denne kartinndelingen. Rømuavassdraget ligger øst for toglinjen og E6 som kan sees til venstre på øverste kartet. (Skrednett).....	38
Figur 23: Anisotropi er benyttet for å anslå den udrenerte skjærstyrken langs glideflaten.....	43
Figur 24: Profil over Norem. Ut fra tolkning av boringer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være 1,64.....	44
Figur 25: Profil over Vall. Ut fra tolkning av boringer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være 1,34.....	45
Figur 26: Profil over Prestenga. Ut fra tolkning av boringer er det antatt sand over leire og morene. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være 1,21.....	45
Figur 27: Profil over Mjølnerud. Ut fra tolkning av boringer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være 1,52.....	46
Figur 28: Profil over Tangerud. Ut fra tolkning av boringer er det antatt sand over mektig leirelag. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være 1,89.....	46
Figur 29: Profil over Vilberg. Ut fra tolkning av boringer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være 1,91.....	47
Figur 30: Profil over Lund. Ut fra tolkning av boringer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være 1,79.....	47
Figur 31: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Med i grafen er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er foretatt. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor, $R^2 \approx 0,55$ .....	49
Figur 32: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er antatt utført. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor, $R^2 \approx 0,33$ .....	51
Figur 33: Avvik i sikkerhetsfaktor korrelert mot Faregrad-poeng for 3 utvalgte soner. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor, $R^2 \approx 0,33$ .....	52
Figur 34: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Med i grafen er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er foretatt. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor, $R^2 \approx 0,57$ ved en antagelse om en logaritmisk sammenheng.....	53
Figur 35: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor kalkulert i Geoslope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er antatt utført. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor, $R^2 \approx 0,39$ ved en antagelse om en logaritmisk sammenheng.....	53
Figur 36: Imshaug- Lav gradient 1:10 (350/25) og tykt sandlag på 7 meter, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,24.....	54
Figur 37: Bingen- Lav gradient 1:12 (450/30) og tykt sandlag på 5 meter, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,55.....	55

Figur 38: Smedsrud- Lav gradient 1:9 (220/23) og sandlag på 3 meter, samt tolket morene (22 meter) fra omtrent 20 meter under terrengoverflate, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,64. 55

Figur 39: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er antatt utført. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,43$  ved en antagelse om en lineær sammenheng. (3 soner er fjernet, etter skjønnsmessig vurdering, som avvik fra de andre 30 punktene.) ..... 56

Figur 40: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er antatt utført. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,47$  ved en antagelse om en logaritmisk sammenheng. (3 soner er fjernet, etter skjønnsmessig vurdering, som avvik fra de andre 30 punktene.) ..... 56

Figur 41: Imshaug- Bekken er lagt i rør og det er bakkeplanert på delstrekning. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=3,24 til SF=3,52..... 58

Figur 42: Bingen- Del av hovedbekk og sidebækker er lagt i rør. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=3,55 til SF=3,70..... 59

Figur 43: Smedsud- Dyrket mark er bakkeplanert. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=3,64 til SF=4,85. .... 59

Figur 44: Frydenlund- Ravine i nord og syd er lagt i rør. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=2,86 til SF=2,95. .... 60

Figur 45: Stokke nedre- Bakkeplanert mot Rømua. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=2,76 til SF=2,82. .... 60

Figur 46: Arteid- Bakkeplanert de øverste 200 meterne av Asakbekken samt hele sideravinen. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=1,82 til SF=2,14..... 61

Figur 47: Krogsrud Ile- Ravinen i syd er lagt i rør og planert. Området er lagt ut til golfbane. Ravine i øst er lagt i rør og planert. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=1,84 til SF=2,13. .... 61

Figur 48: Hillern- Ravine i vest er lagt i rør og gjenfylt. Skråningshøyden i øst er redusert betydelig. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=2,09 til SF=3,05..... 62

Figur 49: Borgen- Bekk er lagt i rør og ravinen er oppfylt. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=1,91 til SF=2,46. .... 62

Figur 50: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor kalkulert i Geoslope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,39$  ved en antagelse om en logaritmisk sammenheng (Soner u/inngrep). For de resterende 9 punktene er det er gjort boringer og utført inngrep. Se Tabell 2. .... 64

## **Tabeller**

Tabell 1: Rømuavassdragets 47 soner. Ikke alle sonene vil bli tatt med i evalueringen, da det mangler grunnundersøkelser for 14 soner. Disse sonene er merket med: *. Kart, med de opprinnelige 29 sonene, kan sees på neste side, Figur 2. ....	8
Tabell 2: Evaluering av skadekonsekvens. ....	28
Tabell 3: Ferdigevaluert konsekvensanalyse.....	29
Tabell 4: Klasseinndeling av konsekvenser (Gregersen, 2002). ....	30
Tabell 5: Evaluering av faregrad.....	32
Tabell 6: Ferdigevaluert faregradsanalyse av sonen Imhaug. ....	33
Tabell 7: Klasseinndeling av faregrad (Gregersen, 2002).....	34
Tabell 8: Klasseinndeling av risiko (Gregersen, 2002).....	35
Tabell 9: Sikkerhetsfaktorer beregnet for sonene i Rømuavassdraget der det er foretatt boringer. ....	48
Tabell 10: Soner i Rømuavassdraget der boringer er utført, og det ikke er gjort inngrep av betydning.....	49
Tabell 11: Soner i Rømuavassdraget der boringer er utført, og det er antatt ingen inngrep av betydning.....	50
Tabell 12: Faregrad-poeng før og etter inngrep, beregnet sikkerhetsfaktor før inngrep og estimert størrelse på inngrepene. ....	58
Tabell 13: Beregnet sikkerhetsfaktor før og etter inngrep. ....	63
Tabell 14: Ferdigevaluert faregradsanalyse for skredsonen Bekkelaget.....	66
Tabell 15: Ferdigevaluert konsekvensanalyse for skredsonen Bekkelaget.....	67

## Kapittel 1. Introduksjon og formål

Etter kvikkleireskredet i Rissa i 1978, besluttet Landbruksdepartementet å igangsette en kartlegging av ”potensielt skredfarlige kvikkleireområder” på Østlandet og i Trøndelag. Prosjektet, som utføres av NGI (Norges Geotekniske Institutt), har nå pågått i over 20 år og skal etter planen fullføres i løpet av 2005. Det er påvist ca. 1200 soner som utgjør et areal på til sammen ca. 500 km<sup>2</sup>. Behovet for å klassifisere sonene har vist seg ønskelig, først og fremst som et hjelpemiddel for prioritering av ressurser i arbeidet for sikring mot skred (Gregersen, 2002).

NGI har på oppdrag fra NVE (Norges Vassdrags- og Energidirektorat) inndelt kvikkleiresoner i fem risikoklasser basert på en evaluering av ”skadekonsekvens” og ”faregrad”. I henhold til utarbeidede klassifiseringstabeller, beskrives skadekonsekvensen som enten ”*mindre alvorlig*”, ”*alvorlig*” eller ”*meget alvorlig*”. Tilsvarende beskrives faregraden som enten ”*lav*”, ”*middels*” eller ”*høy*” (Gregersen, 2002).

En utfordring i denne oppgaven er å sammenstille resultatene av faregradsevalueringer utarbeidet av NGI og konkrete stabilitetsberegninger for sonene. Rømuavassdraget på Romerike skal utprøves i denne oppgaven, og for de 47 sonene i Rømuavassdraget, der det er utført boringer, vil stabilitetsberegninger bli beregnet med programvaren Geoslope/Slope W define, versjon 5.19. NGI-rapportene over kartblad Ullensaker (Gregersen, 1990a,b) og kartblad Fet (Gregersen, 1995a,b) ligger til grunn for beregningene i Slope W. Programvaren Geomedia Professional versjon 4.2 er brukt for å anslå avstanden fra platå på sonene til ravinedalene eller til foten av skråningene.

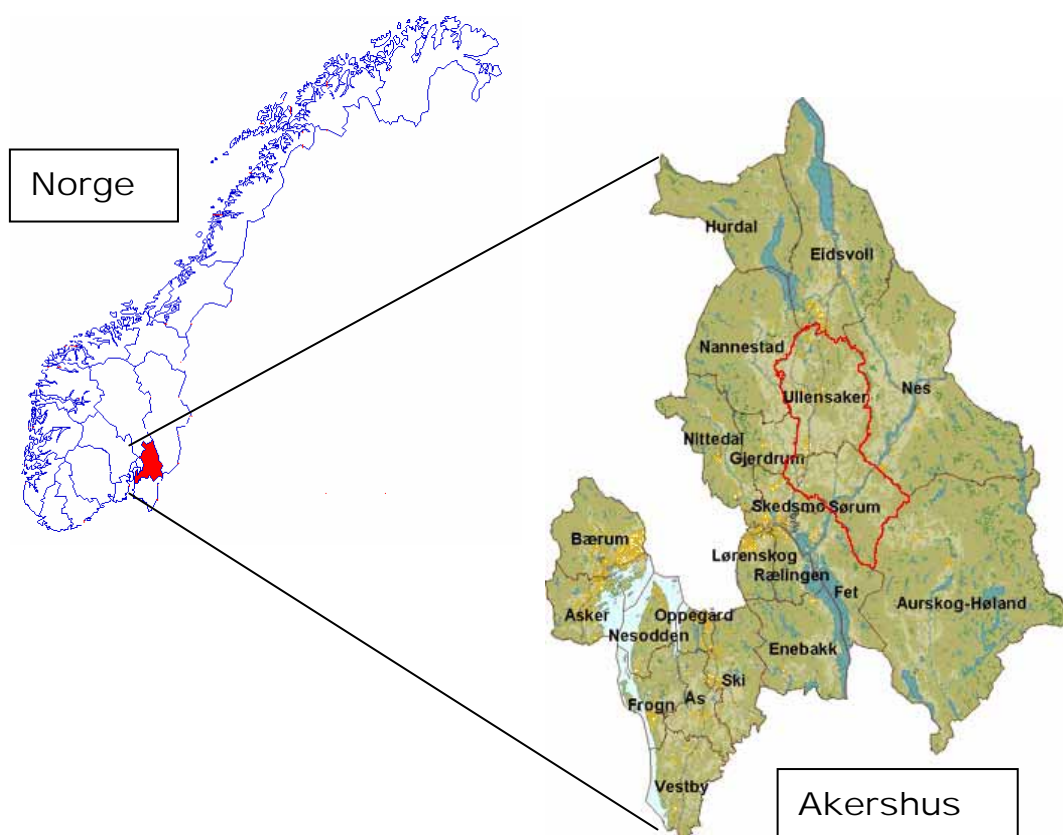
En annen utfordring er å sammenstille effekten av stabiliserende tiltak med hensyn til faregrad og beregningsmessig sikkerhet for noen av de 47 sonene. Områder der det allerede er utført sikringstiltak vil det bli beregnet en sikkerhetsfaktor, ved modellering i Slope W.



En tredje utfordring er å foreta faregradsevaluering for gamle godt dokumenterte skred, for å se om disse kunne vært forutsett. Til denne faregradsevalueringen vil NGIs klassifiseringsrapport (Gregersen, 2002) og skjema som benyttes i kvikkleiredatabasen til NGI, legges til grunn for utarbeidelsen. Følgende skred vil bli evaluert opp mot faregradsevalueringen:

Bekkelaget (1953)	Borgenskredet (1953)	Gøtaskredet (1957)
Furreskredet (1959)	Vibstadskredet (1959)	Ihlangskredet (1965)
Trøgstadskredet (1967)	Båstadskredet (1974)	

### **1.1 Undersøkellesområdet: Rømuavassdraget på Romerike**



**Figur 1: Akershus og Romerike, med inndeling av Ullensaker og Sørums kommune.**

Romerike ligger i Akershus fylke, mellom Mjøsa og Hurdalsjøen i nord og Øyeren i sør. Kommunene Lørenskog, Skedsmo, Nittedal, Rælingen, Fet, Enebakk, Sørums og Aurskog-Høland utgjør nedre Romerike. Øvre Romerike består av kommunene Gjerdrum, Nannestad, Nes, Ullensaker, Eldsvoll og Hurdal.

I de sentrale delene av Romerike i Akershus ligger Rømuavassdraget. Vassdraget som denne oppgaven i hovedsak omhandler, går hovedsakelig gjennom Ullensaker og Sørums kommuner. Ullensaker kommune ligger midt på Romerikssletten og har i nord store sandmoer. Lenger sør er det vesentlig mjøle og leirjord. Sørums er en utpreget leirjordsbygd med mange bekkedaler som er planert etter 1970 med sikte på jordbruk. Det har historisk sett gått mange kvikkleireskred i Rømuavassdraget, og er derfor et godt egnet undersøkelsesområde.

## 1.2 Rømuavassdragets 47 soner

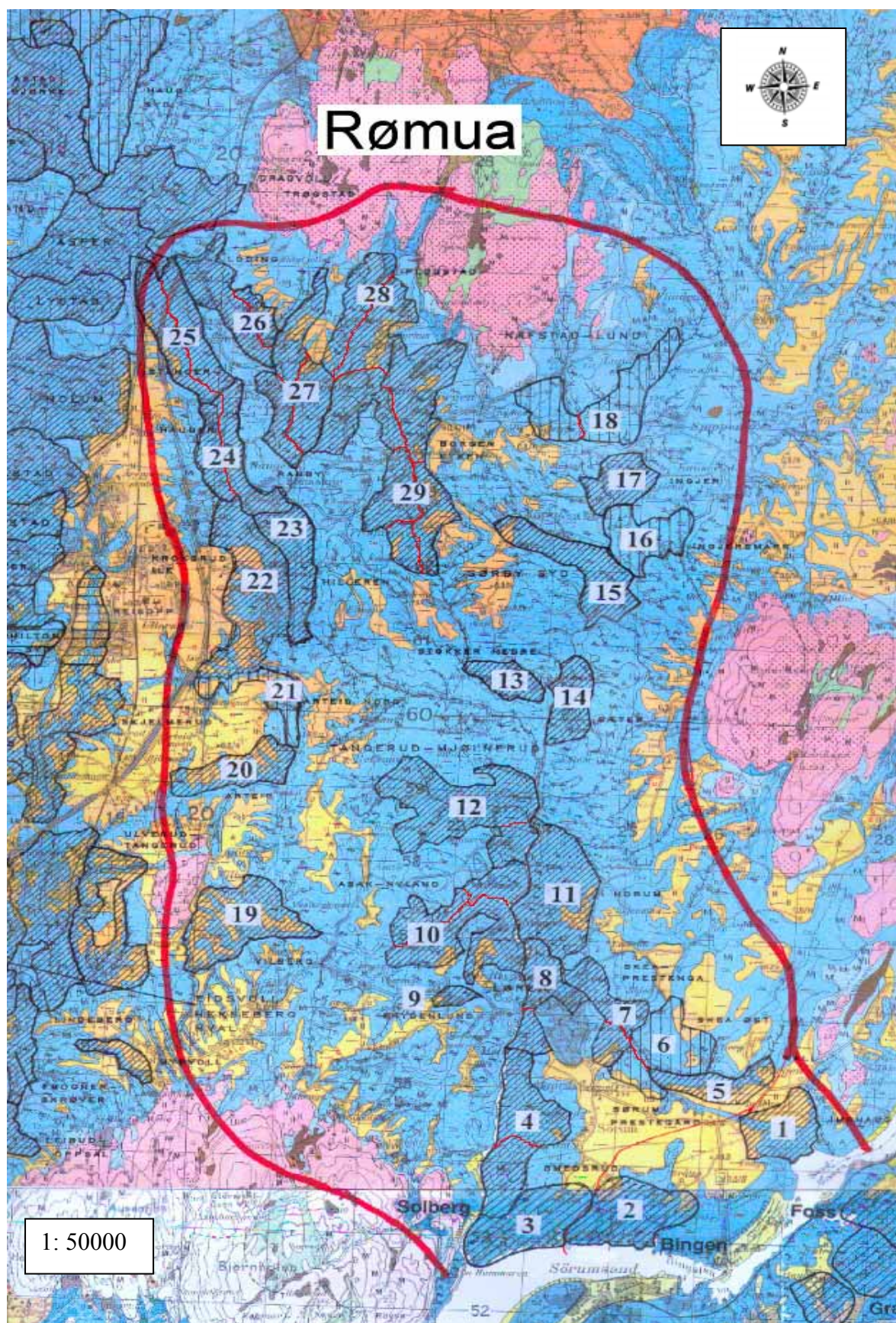
Sone-id	Skredområde	Sone-id	Skredområde	Sone-id	Skredområde
1	Imshaug	17	Tangerud	33	Stanger
2	Bingen	18	Stokke Nedre	34	Bogstad Nord
3	Solberg	19	Sæter	35	Loding
4	Smedsrud Syd*	20	Sørby Syd	36	Loding Øst *
5	Smedsrud	21	Ingjersmarka *	37	Ramby *
6	Vall	22	Ingjer	38	Ramby Nord *
7	Skea Øst *	23	Bjørnli	39	Løken *
8	Skea	24	Lund	40	Plogstad *
9	Prestenga	25	Nafstad	41	Ramby Øvre*
10	Lørenenga *	26	Vilberg	42	Flatby *
11	Løren	27	Arteid	43	Borgen
12	Frydenlund	28	Arteid Nord *	44	Flatby Øst *
13	Nyland	29	Krogsrud Ile	45	Kyken
14	Asak	30	Hillern	46	Kyken Øst
15	Norum	31	Hauger	47	Kyken Syd *
16	Mjølnerud	32	Bogstad		

**Tabell 1: Rømuavassdragets 47 soner. Ikke alle sonene vil bli tatt med i evalueringen, da det mangler grunnundersøkelser for 14 soner. Disse sonene er merket med: \*. Kart, med de opprinnelige 29 sonene, kan sees på neste side, Figur 2.**

For utfyllende informasjon om sonenes geologi og topografiske forhold samt vurdering av resultater av grunnundersøkelser, henvises det til NGI-rapportene (Gregersen, 1990a; Gregersen, 1995a) over kartbladene Fet, 1914 I, UTM PM 234 526 og Ullensaker, 1915 II, UTM PM 253 653.

Resultater fra grunnundersøkelser er samlet i egne NGI-rapporter (Gregersen, 1990b; Gregersen, 1995b) og rapportene presenterer resultatene av feltarbeider og laboratoriearbeider. Det skal nevnes at undersøkelsene kun er orienterende, og pålitelig vurdering av stabilitet forutsetter derfor supplerende undersøkelser.



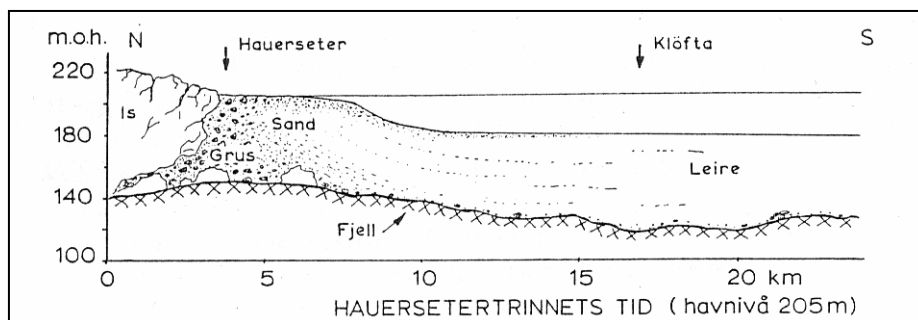


Figur 2: Rømuavassdraget og dets 29 opprinnelige soner. Tykk rød strek indikerer vassdragets avgrensning. Tynne røde strekene indikerer ny oppdeling som har ført til dagens 47 soner. Referanse til kart: (Fet, 1914 I, UTM PM 234 526 og Ullensaker, 1915 II, UTM PM 253 653)

### 1.3 Kvartærgeologien på Romerike

For omtrent en million år siden begynte istidene, og hele Skandinavia ble dekket av is som eroderte kraftig både i den gamle forvitrede fjelloverflaten og i eldre løsmasseavsetninger. Da isen trakk seg tilbake fra Romerike etter siste istid for ca. 10000 år siden, var fjelloverflaten blankskurt og svakhetssonene i berggrunnen utdypet til kløfter og daler, mens harde fjellpartier stakk opp som koller. Vekten av de enorme ismassene førte til at jordskorpen ble presset ned, og da isen begynte å smelte begynte landmassene å heve seg. Mot slutten av siste istid gikk avsmeltingen raskere enn landhevingen og isfronten trakk seg tilbake. Havet fulgte etter og det ble dannet grunne fjorder som på Romerike. "Romeriksfjorden" hadde fri sirkulasjon mot Oslofjorden, både vestover via Grorudpasset og sørover mot Askim og Fredrikstad. Landområdene som var under havet den gang kan ligge opptil 210 meter høyere enn dagens havnivå. Denne grensen betegnes også marin grense og avhenger av når et landområde ble isfritt (Løken m.fl., 1970).

Isfronten trakk seg ikke jevnt tilbake, men gjorde stopp og små fremstøt noe som førte til oppbygging av store sand- og grusavsetninger som for eksempel ved Hauer seter. Det ble dannet store isranddeltaer som bl.a. Gardermoen (Holtedahl, 1924). Foran ismassene skylte store smeltevannselver mengder med sand- og grusmasser, og lenger ut på dypere vann ble finere partikler avsatt og har ført til dagens mektige leiravsetninger. Denne leiren kan være mange 10-talls meter tykk og grunnvannstrømning har vasket ut salter av leira og gjort denne stedvis "kvikk". På de tider var Gardermoen en stor sandstrand og lenger sør var Kløftaplatået en horisontal fjordbunn på ca. 30 meters havdyp (Løken m.fl., 1970).



**Figur 3:** Skjematisk profil N-S av "Romeriksfjorden" slik forholdene antagelig var den gang isen stod ved Hauer seter, og Romerikes marine leirer ble avsatt (Løken m.fl., 1970).



Over de fine massene ligger det et opptil 1,5 meter tykt lag med silt/siltig sand. Silten eller Romeriksmjelen som den kalles, er antatt å stamme fra dambrudd av den isdemte innsjøen Nedre Glomsjø for ca. 9200 år siden (Longva, 1987).

Etter hvert som landområdene ble tørrlagt, og før vegetasjonen fikk godt hold, har den blottlagte terrengoverflaten vært utsatt for kraftig erosjon. Mange av bekkedalene har trolig blitt dannet i denne perioden, og frem til dag har bekker og elver kontinuerlig gravd seg dypere ned i leiravsetningene og dannet raviner. Erosjonen i disse marine leirene har medført mange kvikkleireskred på Romerike.

## **1.4 Kvikkleiredannelse**

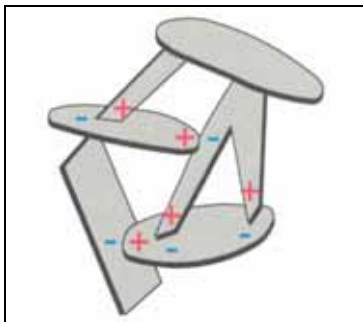
I 1930-årene gjorde statsgeolog Holmsen (Holmsen, 1930) en omfattende undersøkelse av grunnvannsforholdene i norske leiravsetninger. Han foretok flere boringer i eller i nærheten av gamle kvikkleireskred på Romerike. Han fant ofte vannførende sand og gruslag med artesisk vanntrykk inne i leiren eller rett over fjell. Holmsen påpekte at vannet i brønner og oppkommer ofte var saltholdig, og at dette saltet skyldtes det opprinnelige havvann som leiren var avsatt i (Løken m.fl., 1970).

Rosenquist påviste ca. 20 år senere at kvikkleire kunne dannes av en naturlig marin leire, bare ved å redusere saltinnholdet i leirens porevann fra det opprinnelige 20 – 30 g salt pr. liter ned til ca. 1 g salt pr. liter. Ved denne saltreduksjon, som i naturen skjer ved overflatevann og saltfritt (ferskvann) artesisk grunnvann, endres leirens mekaniske egenskaper. Når en saltholdig leire blir belastet til brudd og deretter omrørt, vil den etter omrøring forbli plastisk (seig deformerbart). En kvikkleire som blir belastet til brudd, vil derimot etter omrøring bli fullstendig tyntflytende som en velling eller tynn suppe. Forklaringen ligger i at saltholdig vann i leire fører til at det oppstår kjemiske bånd mellom leir-partiklene. Når saltet fjernes, svekkes disse bindingskreftene, og dette skjer uten at leiren endrer sitt vanninnhold (Rankka, m.fl., 2004; Løken m.fl., 1970; Rosenquist, 1953). I uforstyrret tilstand har kvikkleire egenskaper lik annen ikke-kvikk leire.

Felles for alle leiravsetninger, enten de er salte eller kvikke, er at de har et beskyttende topplag som kalles ”tørrskorpe”. Denne tørrskorpen er blitt dannet ved forvitring ved frost, tørke, regnvann og oksidasjon fra luften. Resultatet er blitt en fast skorpe på 4 – 6 meter som gradvis går over i den bløte underliggende leiren (Løken m.fl., 1970; Holmsen, 1930).

Tørrskorpen består av et fast, oppsprukket leire- eller siltmateriale med varierende og vanskelig målbare styrkeegenskaper. Generelt vil tørrskorpe yte størst motstand ved hurtige belastninger, samt ved belastningsendringer som innebærer en økning av spenningsnivået. I en aktiv (lateral ekstensjon) sone innen et potensielt utglidningsområde, eller i en avlastningssituasjon vil det skje en åpning av sprekkesystemene og derved en styrkereduksjon i tørrskorpen. Under slike forhold må en regne med at tørrskorpematerialet oppfører seg som et seigbruddmateriale med attraksjon,  $a = 0$  og  $\varphi' \approx 32^\circ$  (Aas, 1989).

Partiklene i kvikkleire er formet som mikroskopisk tynne glimmerflak, og leiren har en porøs oppbygning i en korthusstruktur hvor partiklene danner skjelettet, mens hulrommene er fylt med sjøvann. Disse porene utgjør en vesentlig del av volumet, og det salte porevannet bidrar ved sine elektriske ioneladninger til å holde strukturen sammen (Gjelseth, 1999).



**Figur 4: Korthusstruktur i marin leire. Åpen, men stabil mineralkornstruktur. Strukturen er stabil fordi saltet i porevannet gir mineralkornene elektrokjemiske bindingskrefter i kontaktpunktene (Jensen m.fl., 2004).**



Figur 5 a-c: (Jensen m.fl., 2004)

### Struktur i kvikkleire

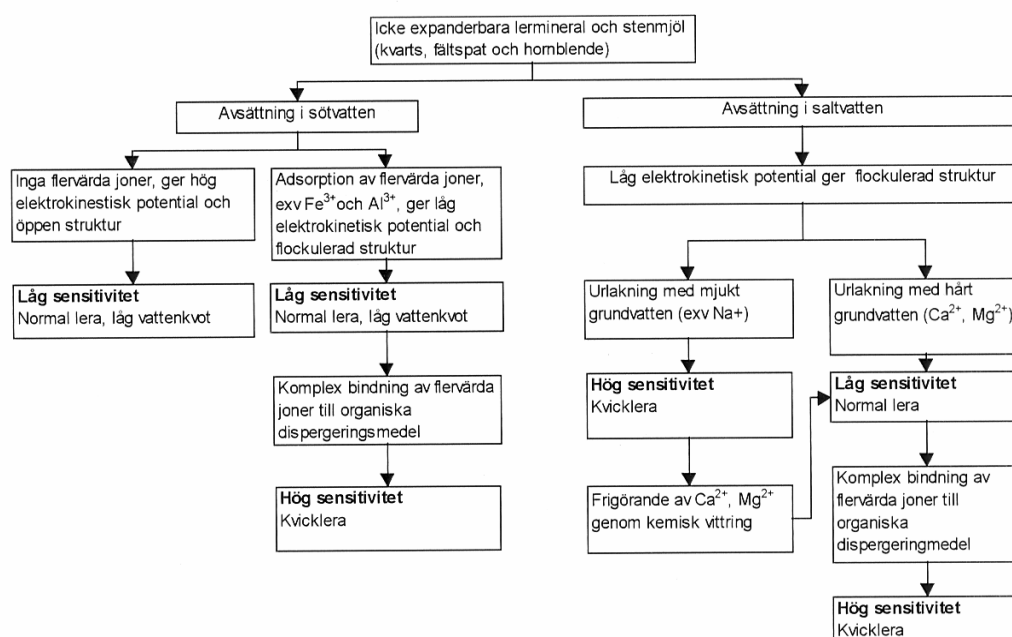
**a. Ustabil korthusstruktur før skred:** Grunnvannet har vasket ut det salte porevannet. De elektrokjemiske bindingskreftene i mineralkornenes kontaktpunkter opphører.

**b. Leirstruktur under skred:** Kvikkleiren flyter nærmest som en velling etter at den er overbelastet og omrørt.

**c. Leirstruktur etter skred:** Mineralkornene har etablert en tettere struktur som er mer stabil enn før skredet. Kvikkleire som har rast blir ikke kvikk igjen (Jensen m.fl., 2004).

Kvikkleire er en ”mager” leire, med lav tetthet av leirpartikler. Uten saltet som bindemiddel mellom partiklene blir hele leira ustabil. Den kan rase sammen hvis den blir utsatt for rystelser, eller hvis trykket på vannet som omgir den, øker (Gran, 2004).

Brenner m.fl. (Brand og Brenner, 1981) gjorde en sammenstilling over prinsippene for kvikkleiredannelse. Sammenstillingen kan sees i Figur 6.

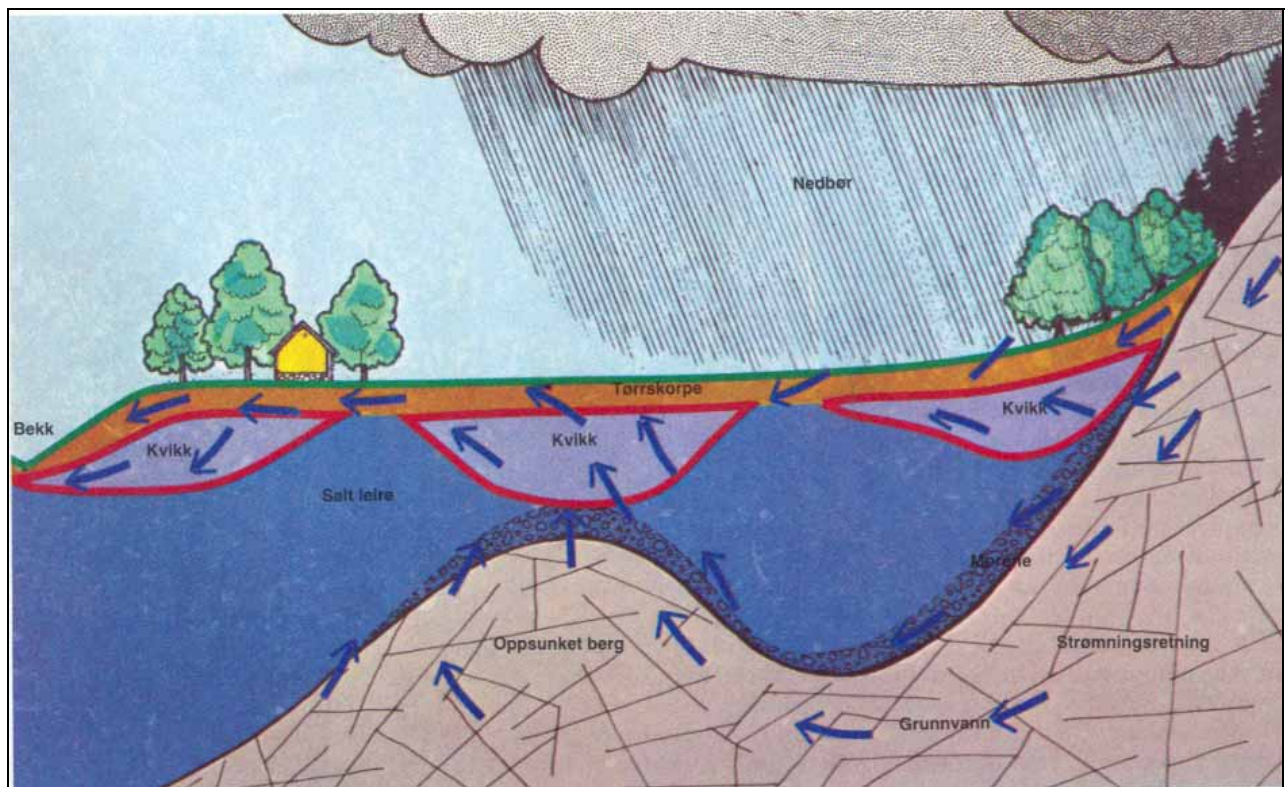


Figur 6: Prinsipper for kvikkleiredannelse (Rankka, 2003) etter (Brenner m.fl., 1981).

Kvikkleire dannes når langsomt strømmende, ferskt grunnvann vasker ut det salte porevannet fra leirstrukturen. Når saltvannet forsvinner opphører de elektrokjemiske bindingskreftene som en stabil korthusstruktur er betinget av (Jensen m.fl., 2004).

Av Figur 6 fremgår det at kjemisk forvitring er en viktig faktor for dannelsen av kvikkleire. Ved utvasking av salt reduseres mengden kationer, og leirens mekaniske fasthet nedsettes. Grunnvannets pH er også lavere enn det opprinnelige porevannet i leiren, og en gradvis senkning av pH fører til større oksidasjonsevne. Reduksjon av pH vil føre til en nedbrytning av kalk, kloritt, feltspat og glimmer, som har en stabiliserende effekt på leirstrukturen (Løken, 1967).

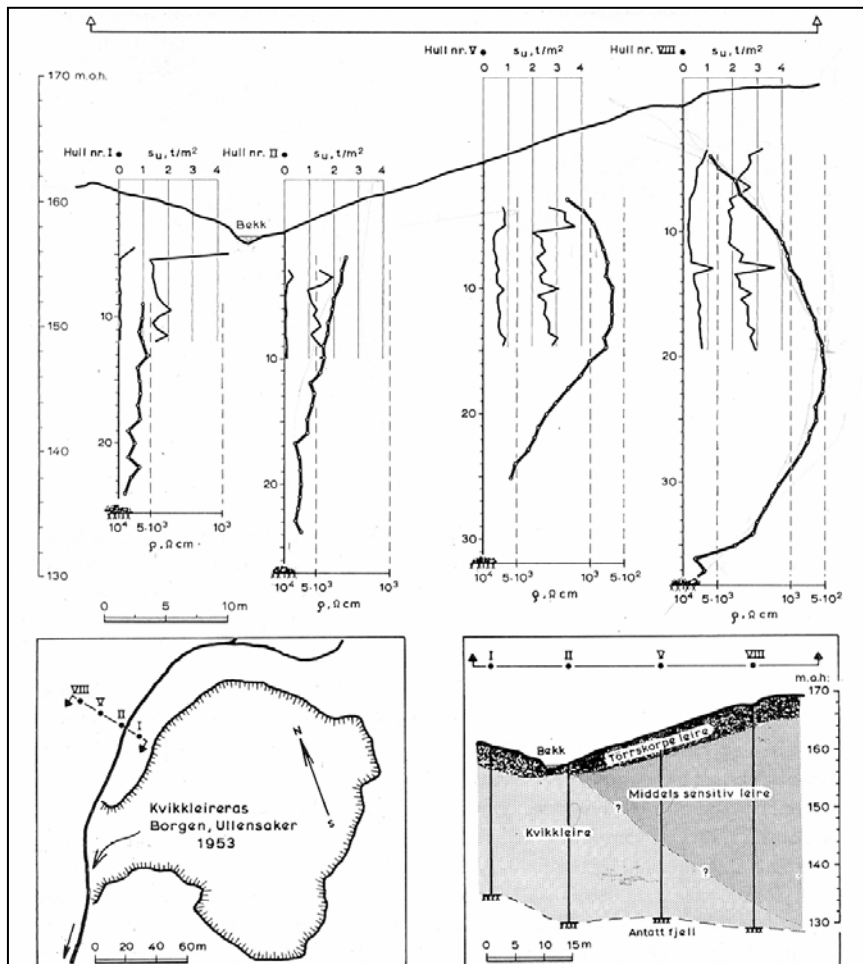
Praksis har vist at kvikkleiren opptrer i meget lokale soner som det ofte er vanskelig å kartlegge. Dette skyldes at saltutvaskingen er mer konsentrert i tre spesielle typer områder. Den enkleste forklaringen er at overflatevann strømmer gjennom leiren fra høyereliggende flate partier og ned gjennom avsetningene i retning skråningsfoten mot en bekk eller en elv. Dette gir for eksempel kvikkleire i et område rett bak en steil leirskråning (Løken, 1983).



**Figur 7: Typiske kvikkleirforekomster inn mot en dalside og under en terrasse. Pilene viser grunnvannets strømning gjennom oppsprukket berg og løsmasser (Løken, 1983).**



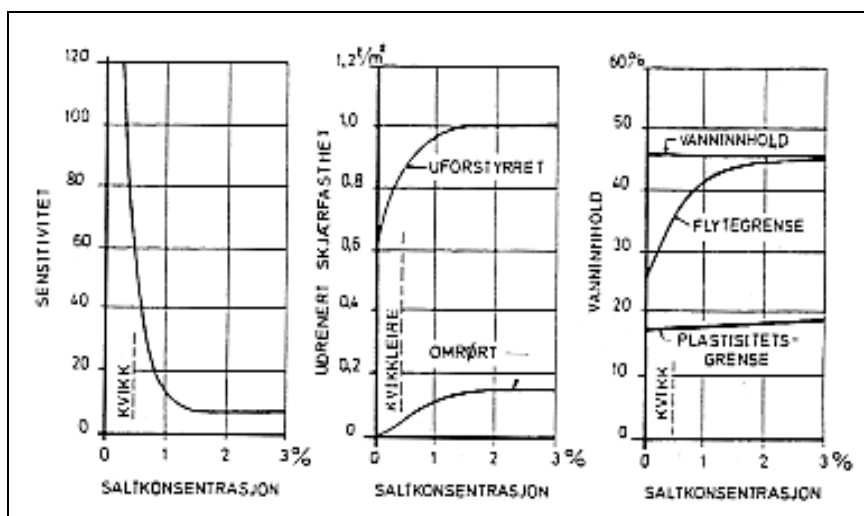
Flere steder hvor det er funnet kvikkleire, er det under leiren et morenelag eller gruslag avsatt direkte over oppsprukket eller skifrig fjell. Dette kan føre til at utvasking av salt kan foregå nedenfra (Løken, 1967). Et eksempel på dette er fra et bekkeprofil på Ullensaker. Ved et kvikkleireskred i 1953, Borgenskredet, raste den ene skråningen ut. Boringer ble utført i området rundt raset, og til geoteknikeres overraskelse var skråningen på andre siden av bekken stabil. Målinger av den elektriske ledningsevnen viste samtidig mindre spesifikk elektrisk motstand (dvs. mer salt i leirens porevann) enn på ras-siden av bekken (Løken, 1967). På større dyp, under den stabile skråningen var imidlertid porevannets saltinnhold blitt redusert. Forskjellen i saltinnholdet i profilet kan forklares ut fra forskjellige dybder til fjell som nettopp er størst under den stabile delen av skråningen. Dette eksempelet viser at omdannelsen av en leire til kvikkleire går raskest der dybden til fjell er minst (Løken, 1967). Se Figur 8.



**Figur 8:** Profil av en stabil leirskråning vis-à-vis kvikkleireskredet på Borgen i Ullensaker som viser vingebor-skjærfasthet ( $s_u$ ) og spesifikk elektrisk motstand ( $\rho$ ), (Løken, 1967).

Leire som er avsatt på land eller i ferskvann, er stort sett mye mer stabil. Dette skyldes at leirpartiklene ligger tettere sammen, og ikke står i "korthusstruktur" som kvikkleiren. Dette gjelder ikke uten unntak. Også leire avsatt i ferskvann eller brakkevann kan gjennom kontakt med større mengder organiske materialer fra torvjord eller annen humus-rik jord, endre konsentrasjonen i porevannet og leiren kan bli kvikk (Rankka m.fl., 2004). Sensitive leirer antas å være avsatt i saltvann men også i brakkevann (Lefebvre, 1996).

Utvaskingen av salt som pågår i leire påvirker kreftene mellom partiklene, men ikke den flokkulerende strukturen (Brenner m.fl., 1981). Derimot påvirker utvaskingen partiklenes mulighet for å omflokkuleres etter omrøring. En marint avsatt leire er oppbygd av store og tette strukturer bundet sammen. Dersom saltet i denne leiren lekker ut og det skjer en omrøring vil ikke partiklene kunne føres sammen i en korthusstruktur igjen (Rankka, 2003). Leirens porevanninnhold avspeiles i flytegrensen. Forandringer i vanninnholdet ved redusert saltinnhold har blitt studert av Rosenquist (1955) og av Bjerrum (1954). Figur 9 illustrerer dette.



**Figur 9: Forandring i vanninnhold, sensitivitet og udrenert skjærstyrke ved forandring av porevannets saltkonsentrasjon (Bjerrum, 1954).**

Flytegrensen er det vanninnholdet som markerer overgangen fra flytende til plastisk konsistens. Flytegrensen bestemmes ved hjelp av Casagrandes flytegrenseapparat eller ved konusforsøk (Stigler m.fl., 1990).

I vanlig marin (salt) leire er vanligvis vanninnholdet lavere enn flytegrensen. For kvikkleire er vanninnholdet noe høyere enn flytegrensen, før kvikkleiren er omrørt. Når et skred går og

kvikkleiren blir omrørt vil den flyte som vann, og bæreevnen til leiren blir kraftig redusert, nærmest til null.

Leirskred i kvikkleire utløses når to hovedforutsetninger er til stede samtidig (Aas, 1989; Jensen m.fl., 2004):

- Leiren er kvikk/har høy sensitivitet
- Leiren har spenninger nær bruddtilstand

Sistnevnte forutsetning er en direkte funksjon av overflatetopografien. Med det menes at områder med små høydeforskjeller er mindre utsatt for skredfare enn områder med store høydeforskjeller. Dersom saltkonsentrasjonen i en marin leire reduseres tilstrekkelig og sensitiviteten øker til over 30 betegnes leiren som kvikk. Se Figur 9. Sensiviteten forklares nærmere i seksjon 1.5.

## **1.5 Sensitivitet**

Forholdet mellom uforstyrret styrke og omrørt styrke for en leire betegnes som sensitivitet. (Jensen m.fl., 2004) Denne styrkeforskjellen i uforstyrret og omrørt kvikkleire illustreres i Figur 10 og 11. I Norge er kvikkleire definert som de jordmasser som overstiger sensitivitet på 30 og som har en omrørt styrke på under 0.5 kPa (NGF, 1974).



(Foto, NGI)

**Figur 10:** Prøve av uforstyrret kvikkleire belastet med vekter. Prøven bærer uten problemer en belastning tilsvarende ca. 15 kPa (Jensen m.fl., 2004).



(Foto, NGI)

**Figur 11: Omrørt kvikkleire:** Prøven fra Figur 10 er omrørt for å illustrere effekten av et brudd i leiren. Prøven blir flytende og har bare en brøkdel av bæreevnen i uforstyrret tilstand (Jensen m.fl., 2004).

Klassifisering av leire med hensyn på sensitivitet (Rankka m.fl., 2004).

Lav sensitivitet  $< 8$

Medium sensitivitet  $8 - 30$

Høy sensitivitet  $> 30$

## **1.6 Kvikkleireskred på Romerike**

Utenom Nord-Europa og Nord-Amerika er fenomenet kvikkleire og kvikkleireskred lite kjent. Kvikkleire er i hovedsak identifisert i det nordre Russland, Norge, Finland, Sverige, Canada og Alaska. Dette har sammenheng med den geologiske historien i de siste 2 -3 millioner år, perioden kalt kvartærtiden. Da satte nemlig istidene inn på våre breddegrader som en følge av klimaforandringer. Gjennom hele kvartærperioden har det vært flere istider, avløst av mildere mellomistider med klima omtrent som i nåtiden (Janbu m.fl., 1993).

Norge er blant de land som har størst problemer med kvikkleire. Særlig i Trøndelagsfylkene og i Østlandsområdet har det gått større kvikkleireskred. Det mest katastrofale skredet inntraff i Verdalen i 1893, da til sammen 116 mennesker mistet livet. Det siste hundreåret har 20 mennesker mistet livet hvert tiår som følge av slike skred i Norge. I tillegg oppstår det ofte store materielle skader, ikke minst på kommunikasjonsnettene (Gjelseth, 1999).

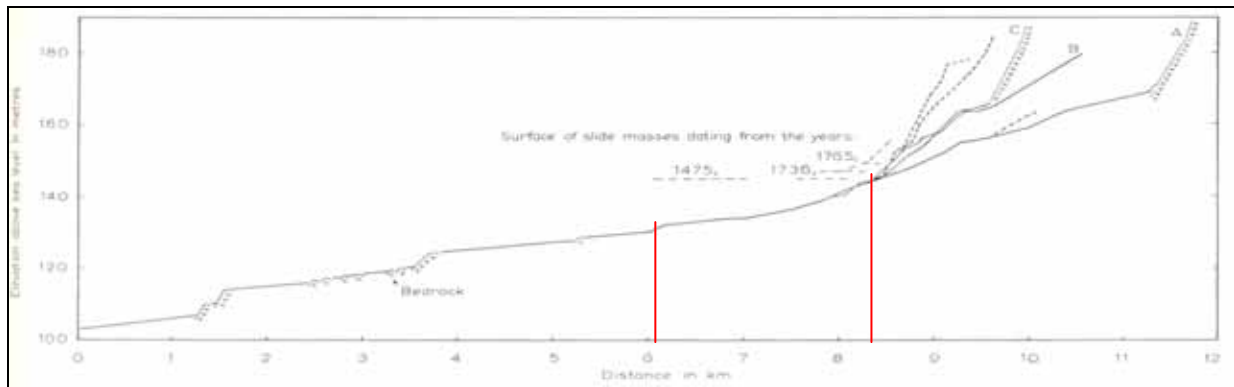
Romerriksbygdene er ett av de mest utsatte områder for kvikkleireskred i Norge. På kvartærgeologisk kartblad over Ullensaker på Romerike er det nedtegnet rundt 300 skredgroper, men det er sannsynlig at tallet er mye høyere. Bekker og overflatevann vil over tid utjevne skredgropene og gjøre det vanskelig eller umulig å identifisere de eldste rasene.

Erosjon i leirområder består av blant annet elve- og bekkeerosjon som skaper raviner. Når skråninger når kritiske verdier for høyde eller helning, utløses større og mindre skred. Skredene er en direkte følge av bratte og høye skråninger. Undersøkelser tyder på at faren for kvikkleireskred er relativt liten når dybden av raviner eller andre nedskjæringer er mindre enn 10 meter (Aas, 1979).

I et geologisk perspektiv begrenses erosjon av fjell eller terskler i vassdraget. Stor dybde til fjell eller nedenforliggende stabilt vannspeil gir et større erosjonspotensiale med dypere raviner enn der dybde til fjell er mindre. Utvasking av salter i leire gir kvikkleire og større, mer tilbakeskridende skred enn man har i ikke-kvikk leire. Det kvartærgeologiske kartet over Ullensaker viser en rekke skredgroper, særlig ut mot elvene Leira og Rømuva. Mange av disse gropene er i dag fjernet ved bakkeplanering. Trolig vil en ha flere generasjoner av skred i det samme området. Kvikkleire som ikke er utløst i et skred, vil senere kunne gli ut når forholdene ligger til rette for det. Påviste faresoner i kvikkeireprosjektet til NGI gir indikasjon på slike steder (Gregersen, 2005).

Erosjonen i vassdragene er som nevnt begrenset av oppstikkende fjellknauser i elve- og bekkebunnen. I Hynnavassdraget som befinner seg nordvest for Rømuavassdraget, og som også renner ut i Rømuavassdraget er det gjort undersøkelser av elveprofilet (Bjerrum m.fl., 1969; Foster m.fl., 1971).

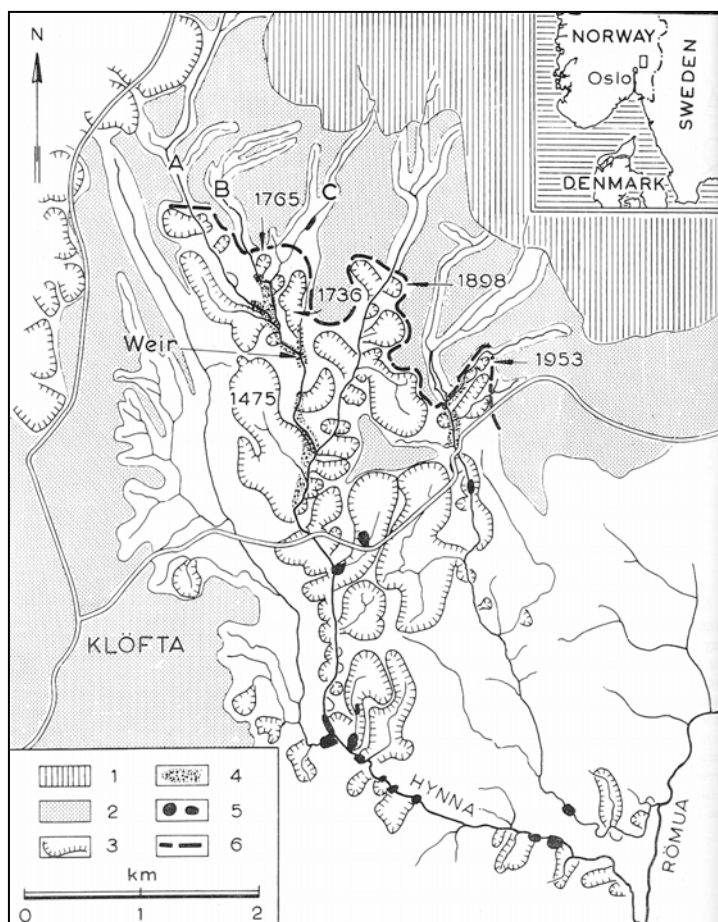
Den ”nedre seksjonen”, 6 kilometer fra innløpet til Rømuavassdraget, har fått en stabil høyde ved at mange fjellknauser er eksponert i elven (Figur 12). Mellom de eksponerte fjellknausene er helningen på 1:300- 1:500. Av det totale høydesnittet til Hynnavassdraget på 27 meter, tapes 15 av disse meterne der elven renner over fjellbotninger. Dette fører til at videre nedskjæring i ravinene i hovedsak stopper, men krappe svinger i elven fører likevel til små ras (Bjerrum m.fl., 1969).



**Figur 12: Lengdeprofil av Hynnavassdraget, "nedre seksjon", "midtre seksjon" og "øvre seksjon" (Bjerrum m.fl., 1969).**

Den "midtre seksjonen" er definert der elven renner i gamle rasavsetninger (Figur 13). På et tidligere tidspunkt var elveslettene på et lavere punkt i terrenget, og dette vil de på sikt kunne gjøre igjen (Bjerrum m.fl., 1969).

Den "øvre seksjonen" er definert der elven er i eroderbar leire og der ras forekommer. I dette området graver elvene seg bakover. Området der det ikke har vært eller for øyeblikket ikke er ras i kvikkleire kalles "aggresjonsfronten" (Bjerrum m.fl., 1969).



**Figur 13: Kart over Hynnavassdraget (Bjerrum m.fl., 1969):**

1. Område med grunnfjell.
2. Flate områder med gammel havbunn.
3. Skredkanter etter gamle skred.
4. Skredmasser fra gamle kvikkleireskred.
5. Fjellbotninger i elver og bekker.
6. "Aggresjonsfront"

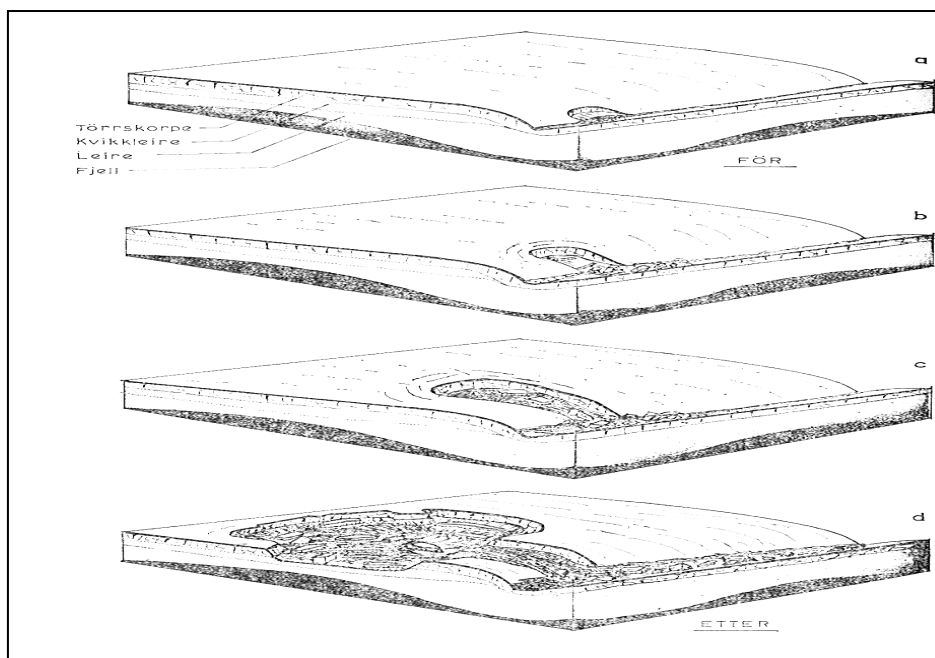
For Rømuavassdraget antas det å være noe lignende forhold og denne skissen viser noe av den historiske, pågående og trolig fremtidige utviklingen av kvikkleireavsetningene på Romerike. Kvikkleireskred har forekommet flere ganger også i dette området, og årstallene er avmerket på Figur 12 og 13.

Større kvikkleireskred i ravineområder skjer hovedsakelig der skråningshøyden er over 10 meter. Erfaring tilsier at skrånende terreng med helningsforhold større enn 1:15 (3,8°) kan være skredfarlig dersom grunnen inneholder kvikkleire (Jensen m.fl., 2004).

Ved forstyrrelser av skråningene, som eksempel ved erosjon og utrasing, vil korthusstrukturen brått kunne falle sammen. Den relativt faste leiren blir svært raskt en flytende suppe som renner ut av skredgropen. Manglende styrke i skredgropen der initialskredet gikk kan føre til

en kjedereaksjon idet stadig nye skred løsner i rask rekkefølge og i verste fall kan denne utviklingen føre til større katastrofale skred.

Ofte begynner skredene med en mindre utglidning i foten av en bekkeskråning, såkalt initialscred. Slike små utglidninger er vanlige i leirterreng, og får nødvendigvis ikke særlig konsekvenser, men dersom det er kvikkleire dypere inn i skråningen, og den første utglidningen går så dypt at kvikkleiren bakenfor ikke tåler denne påkjenningen, kan det i rask rekkefølge komme en serie nye utrasninger som forplanter seg både bakover og ut til sidene. Sensitiviteten er en viktig faktor for at skredet skal kunne ha en retrogressiv utvikling (Eide, 1953; Aas, 1989). Kvikkleiren og overliggende masser vil kunne flomme ut gjennom skredåpningen. Massene vil etter hvert komme til ro, og resedimenteres i en nesten horisontal trasé, dreneres for porevann og omdannes til en tett og fast leire (Løken m.fl., 1993).



**Figur 14: Skjematisk utvikling av Borgenskredet:**

**a.** Det hele begynner med en liten utglidning i foten av skråningen som følge av bekkeerosjon.

**b. og c.** Noe senere oppstår det sprekker i skråningen, og større flak av tørrskorpen glir ut samtidig som underliggende kvikkleire blir omrørt. Raskt utvikler skredet seg bakover og ut til sidene, og omrørt kvikkleire og tørrskorpeflak seiler ut gjennom "skredporten".

**d.** Skredet stopper opp ved begrensningen av kvikkleireforekomsten eller ved topografiske begrensninger som bekkedaler eller gamle skred (Løken m.fl., 1970).



Det typiske for kvikkleireskred er at de ofte etterlater en rund, pæreformet rasgrop (Figur 14 og 15). Den flytende kvikkleiren har som nevnt strømmet ut av en ganske trang ”skredport” (oftest der skredet startet), mens skredgropen kan danne et stort basseng innenfor porten. Inne i skredgropen kan det i tiden like etter skredet være et særpreget mønster av spisse rygger eller pyramideformer, begrenset av skråstilte bruddflater. Et typisk eksempel på pæreformet skredgrop med trang skredport er Borgenskredet på Ullensaker lille julaften i 1953 (Løken m.fl., 1970).



(Foto: Widerøe)

**Figur 15: Borgenskredet på Ullensaker 23.12.1953, viser pæreformet skredgrop.**

I fast leire eller andre faste masser blir skredgropene vanligvis mye mindre og mer åpne, ofte med en oval forsenkning. I ettertid kan det være vanskelig å avgjøre om slike terrengformer skyldes skred eller andre forhold. Mange kvikkleireskred stopper uten at all kvikkleiren raser ut. Det er derfor ikke uvanlig at det fortsatt finnes kvikkleire bak gamle skredkanter eller i gjenstående rygger mellom skredgroper. Kvikkleiremasser som har vært flytende og har falt til ro igjen, vil imidlertid bli faste og stabile masser når overskuddsvannet er borte. Områder med gamle skredmasser kan derfor være sikker og god byggegrunn hvis de ikke trues av nye skred fra gjenværende, høyereliggende kvikkleirelommer i nærheten (Løken m.fl., 1970).

### 1.6.1 Historiske skredhendelser på Romerike

Det har gått mange skred i historisk tid og det finnes oversikter over disse i Romerike historielags årbok for 1970 (Løken m.fl., 1970) og i bygdebok for Nes på Romerike (Løken m.fl., 1980). Et av de skredene som er best kjent og undersøkt er Borgenskredet som gikk i 1953 (Rosenquist, 1960) (Figur 15).

Et annet skred som bør nevnes er Tesenskredet, i 1785, hvor et landområde på ca. 250 mål raste ut fra Vormas vestre bredd. Dette skredet skal etter beretninger ha demmet opp Mjøsa i 111 dager, slik at vannet steg 8 meter. Grøfter ble gravd i østre deler av skredet for å drenere ut vannet (Vibe, 1897).

Skeafallet i 1768 er et av de mest kjente og best beskrevne gamle kvikkleireskredene. Jørstad (1968) har grundig beskrevet dette skredet. Det totale området av skredet var omtrent 300 mål (Jørstad, 1968).

I 1794 gikk et enda større skred. I Lørenfallet sør for Skeafallet raste det ut ca. 360 mål land. Rømua ble demmet opp og vannstanden bak demningen steg 19 meter over laveste vannstand. Rømua var fullstendig oppdemmet i mer enn 4 måneder (Vibe, 1897).

Holum-skredet i 1883 tok med seg 120 mål land og førte til en oppdemming av Leira-elven med 12-14 meter. Massen var anslått til i overkant av 1 million m<sup>3</sup>.

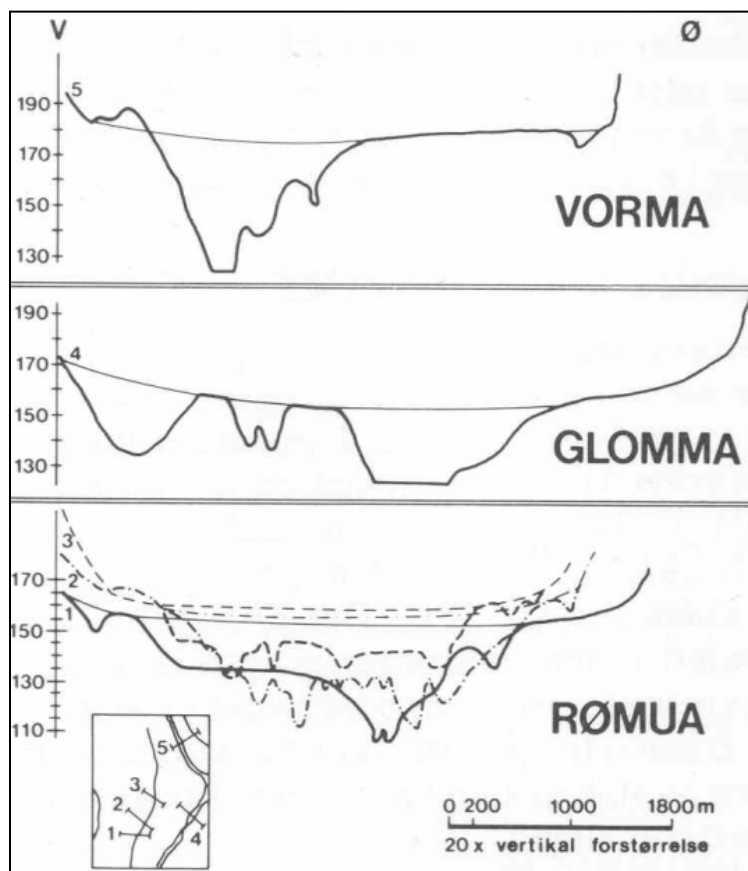
Av nyere skred kan nevnes to ved Ihlang på Nes og Hekseberget i Gjerdrum. Det første skredet ved Ihlang gikk i november 1954 og tok med seg 12 mål skog (Rosenquist, 1954). Det andre inntraff i september 1965 og en hel gård ble tatt av skredet (Bjerrum, 1966). Dette skredet var imidlertid ikke et kvikkleireskred (Løken m.fl., 1970).

Det yngste større skredet gikk i mars 1967 på gården Hekseberg. Det startet med et lite initialskred ned mot elven Leira, og i løpet av noen dager hadde det gått flere store utglidninger og tatt med totalt 25 mål dyrket mark. Vannstanden i Leira steg med 3-4 meter i denne perioden (Løken m.fl., 1970).

Det er mange andre store skred som har gått på Romerike de siste par-tre hundre år, og det vises til bygdebøkene som nevnt ovenfor, for mer utfyllende informasjon.

Terrengformasjonene bærer tydelig preg av bekke- og skrederosjon. En stor del av skredaktiviteten var trolig knyttet til perioden da landet steg opp av havet. Dette må ha vært tilfellet for området omkring Rømuavassdraget, nord for Lørenfallet. Langs Rømua er det

dannet en slette som ligger fra 130-140 moh., det vil si 10-20 meter under antatt opprinnelig havbunn (Longva, 1987) (Se Figur 16).



**Figur 16: Profiler på tvers av Rømua, Glomma og Vorma. Tykk strek markerer dagens overflate, tynn strek sannsynlig overflate før skred. Langs Rømuavassdraget må massene være fjernet ved skred. Det innfelte kartet gir lokalisering av profilene (Longva, 1987).**

## Kapittel 2. NGI's klassifiseringssystem for kvikkleiresoner

NGI har, på oppdrag fra NVE inndelt kvikkleiresoner i fem risikoklasser basert på en evaluering av ”skadekonsekvens” og ”faregrad”. Hensikten med klassifiseringen er å skille soner med høy risiko fra soner med lavere risiko. Den påfølgende beskrivelsen gir en kort innføring i det NGIs klassifiseringsmetode bygger på. For mer utfyllende informasjon vises det til NGI-rapporten: ”Vurdering av risiko for skred. Metode for klassifisering av faresoner i kvikkleire” (Gregersen, 2002).

De opprinnelig angitte faresonene var i mange tilfelle inndelt noe tilfeldig og var ofte svært store. Det er nå foretatt en revurdering av oppdelingen av fareområdene i soner, slik at en sone i best mulig grad skal representere en realistisk utstrekning av et mulig fremtidig skred. Dette har resultert i at mange av de tidligere sonene nå er splittet opp i flere og mindre soner. For Rømuavassdraget har dette ført til en økning fra 29 til 47 soner. For utfyllende informasjon om disse henvises det til Vedlegg A. Disse 47 sonene er de første som ble evaluert av NGI ut fra klassifiseringsmetoden og sonene kan besiktiges på kvikkleiredatabasen til NGI. Databasen er ikke åpnet for tilgang, men på sikt er bl.a. berørte kommuner og NVE ment å få tilgang til denne databasen for å få klarhet i utberedelsen av kvikkleiresoner, og for å gjøre eventuelle sikringstiltak i disse områdene.

For utfyllende informasjon om sonenes geologi og topografiske forhold samt vurdering av resultater av grunnundersøkelser, henvises det til NGI-rapporter (Gregersen, 1990a & Gregersen, 1995a) over kartbladene Fet, 1914 I, UTM PM 234 526 og Ullensaker, 1915 II, UTM PM 253 653.

Tilgjengelige og oppdaterte data fra kommuner er særdeles viktig, for å få en så presis og riktig evaluering som mulig. Prosjektet er et samarbeid mellom både statlige og private aktører, mens kommunene er ansvarlig myndighet. De nødvendige tiltakene gjennomføres ofte i et samarbeid mellom kommune og NVE. Kommunene og NVE har stort sett vært raske til å følge opp, da resultater i form av at betydelig områdesikring allerede er utført, eksempelvis langs Namsen i Nord Trøndelag.

NGI har for øvrig utarbeidet en veileder for hvordan man skal planlegge eller gjennomføre byggeprosjekter innenfor disse faresonene (Gregersen, 2005).

Arbeidet med å redusere faren for kvikkleireskred er blitt inndelt i tre faser (Gregersen, 2002):

Fase 1: Lokalisering av ”potensielt skredfarlige soner”.

Fase 2: Klassifisering av faresoner på grunnlag av konsekvens og faregrad.

Fase 3: Gjennomføring av nødvendige supplerende undersøkelser og eventuelle stabiliserende tiltak for soner med høy ”risikoklasse”.

Fase 1 tilsvarer det arbeidet som er utført i NGI-prosjektet ”Kartlegging av potensielt skredfarlige kvikkleireområder”. Topografiske kriterier og enkle grunnundersøkelser er grunnlaget for utarbeidelse av ”potensielt skredfarlige soner” (Gregersen, 1990a & Gregersen, 1995a).

Fase 2 omfatter klassifisering av faresonene etter risikoklasser, basert på skadekonsekvens og faregrad. Metoden er beskrevet videre i oppgaven.

Det er lagt vekt på at klassifiseringssystemet skal være enkelt og lite arbeidskrevende.

Metoden er basert på studie av eksisterende, for det meste, lett tilgjengelig informasjon samt på befaringer i felt.

I Fase 3 er det kommunene og NVE som i hovedsak skal samarbeide om de stabiliserende tiltakene for soner med høy risikoklasse, og dersom ønskelig, med geotekniske vurderinger. Der mangelen på informasjon er stor vil supplerende undersøkelser være en nødvendighet.

Ved utbygging og inngrep i skredutsatte områder må det stilles spesielle krav til dokumentasjon av sikkerheten mot skred. Det er ikke tilstrekkelig å vise at sikkerheten er tilfredsstillende for selve byggetomta. Det må også dokumenteres at byggetomta ikke kan bli berørt av skred som utløses et annet sted i risikoområdet.

Menneskelige inngrep som bekkelukking og rør under veier gir kunstige erosjonsterskler og hindrer videre senkning av bekkene. Bekkelukking er ofte foretatt sammen med bakkeplanering som etter ferdigstilling har gitt mer stabile skråninger.

## 2.1 Konsekvensevaluering av kvikkleiresoner

De skadekonsekvenser som vurderes er: fare for liv, skade på mennesker, økonomiske tap og verdiforringelse, samt fare for at viktige samfunnsmessige funksjoner skal stoppe opp.

Under evalueringen av konsekvensklassifiseringen tas det for hver sone hensyn til de viktigste faktorene for skadekonsekvens. Hver av faktorene vurderes på grunnlag av kriteriene som er angitt i Tabell 2 etter en skala fra 0 til 3 (score), hvor 3 angir høyeste konsekvens. I tillegg har faktorene fått et vektall, 1-4, avhengig av hvilken betydning de er tillagt relativt til hverandre. Poengverdi for hver faktor fremkommer som produktet av score og vektall. Poengene for de ulike faktorene summeres, og summen bestemmer hvilke skadekonsekvensklasse sonen får. Som det fremgår av skadekonsekvensevalueringen kan en sone få maksimalt 45 poeng.

Evalueringen gjøres på grunnlag av kriteriene som fremgår av Tabell 2.

Faktorer	Vekt-tall	Konsekvens, score			
		3	2	1	0
a. Boligheter, antall	4	Tett > 5	Spredt > 5	Spredt < 5	Ingen
b. Næringsbygg, personer	3	> 50	10 – 50	< 10	Ingen
c. Annen bebyggelse, verdi	1	Stor	Betydelig	Begrenset	Ingen
d. Vei	2	Riksvei	Fylkesvei	Kommunal vei	Privat
e. Toglinje, baneprioritet	2	1 – 2	3 – 4	5	Ingen
f. Kraftnett	1	Sentral	Regional	Distribusjon	Lokal
g. Oppdemning/flom	2	Alvorlig	Middels	Liten	Ingen
Sum		45	30	15	0

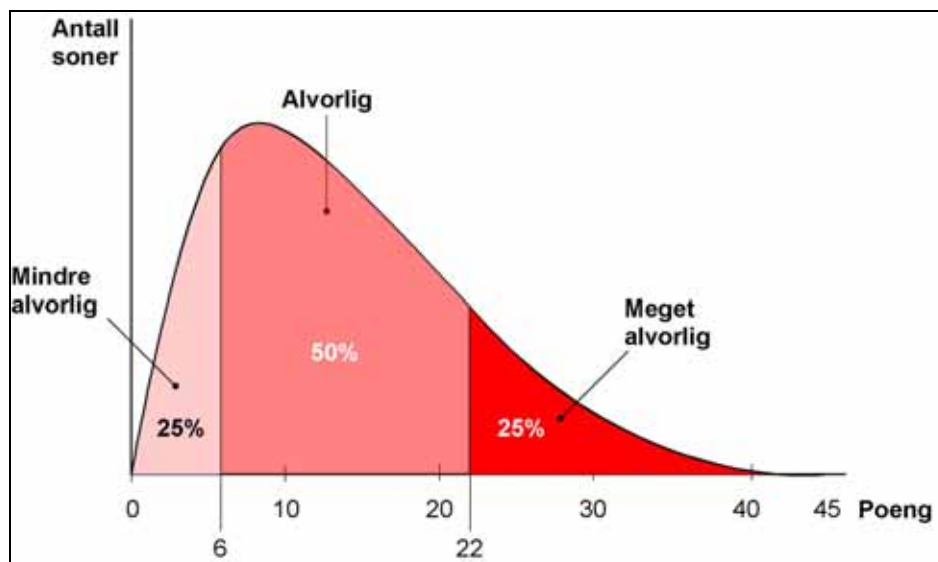
**Tabell 2: Evaluering av skadekonsekvens.**

Tabellen omfatter sju faktorer, hvorav a og b berører menneskers liv og helse direkte.

Faktorene c, d og e gjelder samfunnsmessige funksjoner som berører mennesker indirekte, eventuelt også direkte. Faktorene c og g vil i hovedsak gjelde tap av verdier.

Generelt bemerkes at det ved mangelfull informasjon må foretas en konservativ antagelse ved evalueringen. Se for øvrig NGI-rapporten (Gregersen, 2002) som omhandler dette tema.

Fordelingen av poeng på soner er gitt i en veiledende fordelingskurve som vist i Figur 17.



Figur 17: Inndeling av konsekvensklasser (Gregersen, 2002).

Eksempel på en konsekvensanalyse, der de forskjellige faktorene tillegges vektning etter konsekvens ved eventuelt skred er gitt i Tabell 3. Eksempelet gjelder for sonen Imshaug.

Konsekvensevaluering				Dato : 26.09.01	
Sone : 0001 Imshaug 0226 Sørums kommun				Signatur : AE/OG	
Faktorer	Beskrivelse	Konsekvens	Score	Vekttall	Poeng
Boligheter, antall	> 5 boligheter, spredt bebyggelse	Spredt > 5	2	4	8
Næringsbygg, personer	Ingen	Ingen	0	3	0
Annen, bebyggelse, verdi	Ingen	Ingen	0	1	0
Vei, ÅDT	Riksvei 173 og Kommunal vei 1200	> 5000 (antatt)	3	2	6
Toglinje, baneprioritet	Ingen	Ingen	0	2	0
Kraftnett	Regionalnett og distribusjonsnett	Regional	2	1	2
Oppdemming / flomfare	Neppe fare for vesentlig oppdemming og flom.	Ingen	0	2	0
<b>Sum poeng / % av total :</b>				<b>16</b>	<b>36</b>

Tabell 3: Ferdigevaluert konsekvensanalyse.

Konsekvensene av et skred deles inn i tre klasser på bakgrunn av følgende:

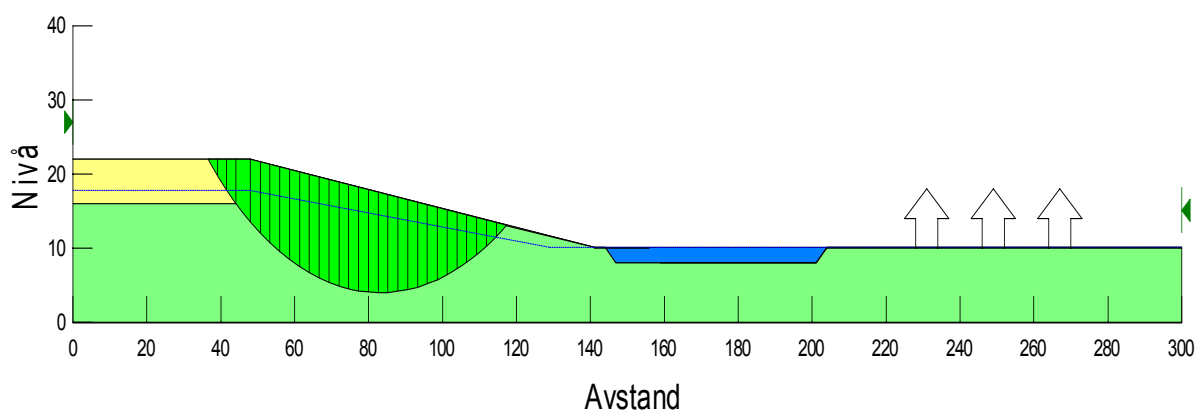
Mindre alvorlig:	Liten risiko for skade på mennesker, tap av liv, begrensede økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser.
Alvorlig:	Risiko for skade på mennesker/tap av liv eller betydelige økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser.
Meget alvorlig:	Stor risiko for skade på mennesker/tap av liv eller meget store økonomiske og samfunnsmessige konsekvenser.

**Tabell 4: Klasseinndeling av konsekvenser (Gregersen, 2002).**

Kommentar til Tabell 4: Definisjonen av risiko er, sannsynlighet x konsekvens. Det vil i denne tabellen være uheldig å benytte ordlyden ”risiko for” som en betegnelse for potensielle skader.

### 2.1.1 Forslag til endringer i konsekvensevalueringen

*Fare for tap av menneskeliv* er i klassifiseringen primært behandlet under faktorene boligheter og næringsbygg. Dersom en sone verken har infrastruktur eller beboende, men går under klassifiseringen faregrad ”høy”, vil konsekvensevalueringen resultere i konsekvensklasse ”mindre alvorlig”. Er det en større elv i bunnen av skråning og elveslette med hus på andre siden, vil det likevel kunne få katastrofale følger. I denne situasjon vil den direkte vannbølgen, og masser fra skredet true bebyggelsen. Utløpsdistansen på skredet må derfor tas med i beregningen av konsekvensen for *boligheter*. Figur 18 illustrerer denne situasjonen.



**Figur 18: Profil som viser mulig feiltolkning i konsekvensevalueringen.**



Det er tvilsomt at det er mange av disse tilfellene da skråningene i hovedsak er i ravinelandskap og det er sjelden en flat elveslette ved skråningsfot. NGI er klar over dette og har gjort tiltak for å bøte på denne problemstillingen, men det kan være enkelttilfeller som ligner på dette uten at de er tatt med i betraktning under klassifiseringen. Denne problemstillingen ble først tatt med i siste reviderte utgave av kartleggingsveiledningen. En løsning som også NGI har kommet frem til, vil være å se hele nærområdet under sonens tilhørighet. Da vil man fange opp problemer som dette.

Det er vurdert i kartleggingsveiledningen om det skal tas hensyn til *boligekvivalenter* i stedet for *antall boligheter* (Tabell 2). Fordelingen med *boligekvivalenter* vil være bedre enn det gjøres ved å angi *antall boligheter*. Imidlertid er det mangel på god dokumentasjon av *boligekvivalenter*.

En lignende problemstilling er om menneskelig tilstedeværelse skal veie såpass mye at et hvert bolighus vil komme i konsekvensklasse ”*alvorlig*”. I dagens klassifisering vil det for eksempel for 4 bolighus med privat vei og kun lokal kraftnettilkobling og ellers ingen infrastruktur, gis 4 Konsekvens-poeng. Dette tilsvarer konsekvensklasse ”*mindre alvorlig*”. Vil det i fremtiden være, av konsekvensmessig årsak, ønskelig å justere opp vektleggingen av menneskelig tilstedeværelse?

Det er ellers ikke gjort forsøk på endringer av andre deler i konsekvensevalueringen. Det er gjort et meget grundig arbeid i den angitte NGI-klassifiseringen slik det er presentert i det foregående og en rekke institusjoner har vært på banen for å diskutere beste analysemetode, deriblant NVE, SINTEF/NTNU og internt på NGI (Gregersen, 2002).

Det har tidligere fremkommet ønske fra NVE og SINTEF om at hver sone i størst mulig grad skal reflektere ett potensielt stort kvikkleireskred. Dette er fulgt opp og har ført til en oppdeling av større soner til flere små med lokale forskjeller. Eksempelvis har som nevnt, antall soner i Rømuavassdraget blitt oppdelt fra 29 soner til dagens 47 soner.

Forruten nevnte problemstillinger ser gjeldende konsekvensklassifisering ut til å fungere tilfredsstillende.

## 2.1.2 Metoder benyttet i konsekvensevaluering

Geomedia er et kartverktøy fra Intergraph for lettere å kunne benytte kart i datainnhentelse og forståelse ( [www.intergraph.com](http://www.intergraph.com) ). For konsekvensanalysene er Geomedia Professional version 4.2 anvendt til å anslå *Boligheter*, *Næringsbygg*, *Annen bebyggelse*, *Vei-ÅDT* (årsdøgn-trafikk), *Toglinje* og *Kraftnett*. *Oppdemming/flomfare* er tolket ut fra om skredmasser kan forårsake oppdemning av et vassdrag eller ikke.

## 2.2 Faregradsevaluering av kvikkleiresoner

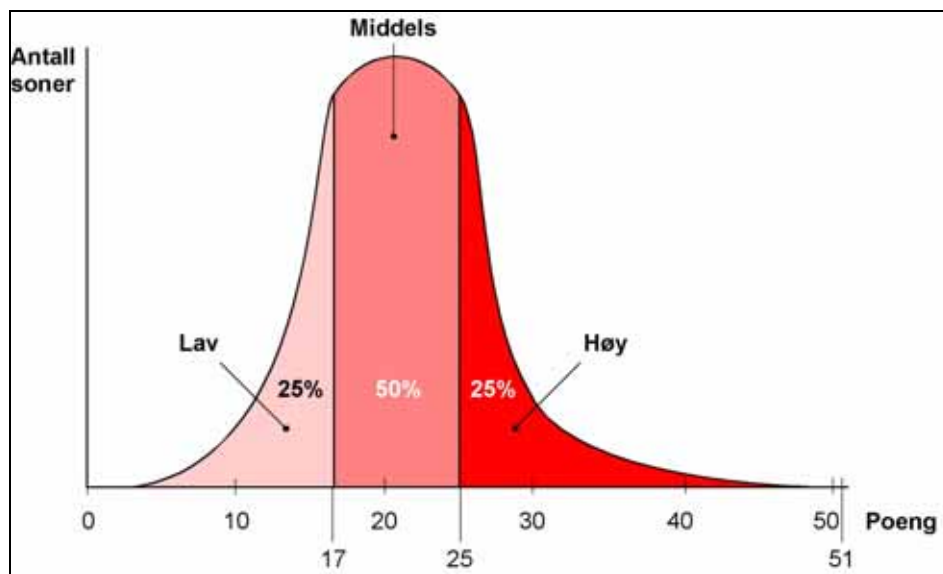
Faregradsevalueringen gjøres på grunnlag av kriteriene som fremgår av Tabell 5.

Faktorer	Vekt tall	Faregrad, score			
		3	2	1	0
Tidligere skredaktivitet	1	Høy	Noe	Lav	Ingen
Skråningshøyde, meter	2	>30	20 – 30	15 – 20	<15
Skjærstyrke ( $s_u/p_o$ ) eller OCR	2	0,30-0,35	0,35-0,40	0,40-0,50	>0,50
	2	1,0-1,2	1,2-1,5	1,5-2,0	>2,0
Poretrykk: overtrykk undertrykk	3	Stort	Noe	Lite	Hydrostatisk
	-3	Stort	Noe	Lite	
Kvikkleiremektighet	2	>H/2	H/2-H/4	<H/4	Tynt lag
Sensitivitet	1	>100	30-100	20-30	<20
Erosjon	3	Aktiv	Noe	Lite	Ingen
Inngrep, forverring eller forbedring	3	Stor	Noe	Liten	Ingen
	-3	Stor	Noe	Liten	
Sum		51	34	16	0

**Tabell 5: Evaluering av faregrad.**

Tabellen består av 8 faktorer, hvorav de to første angir topografiske forhold. De neste fire faktorene omhandler grunnens geotekniske egenskaper og de to siste gjelder forhold som beskriver endringer som kan påvirke skråningens stabilitet. Generelt bemerkes at det ved mangelfull informasjon må foretas en konservativ antagelse ved evalueringen.

Fordelingen av poeng på soner er gitt av en veiledende fordelingskurve som vist i Figur 19.



**Figur 19: Inndeling av faregradsklasser (Gregersen, 2002).**

Eksempel på en faregradsanalyse, der de forskjellige faktorene tillegges vektning etter fare for skred, er gitt i Tabell 6. Eksempelet gjelder for sonen Imshaug.

Faregradsevaluering			Dato : 26.09.01		
Sone : 0001 Imshaug			Signatur : OG		
0226 Sørums kommun					
Faktorer	Beskrivelse	Faregrad	Score	Vekttall	Poeng
Skredaktivitet	Flere skredgroper i og i nærheten av sonen.	Høy	3	1	3
Skråningshøyde, m	20-25 m.	20-30	2	2	4
OCR : tidligere/nåværende terrengnivå	5-10 m terrengsenkning pga skredaktivitet.	1,2-1,5	2	2	4
Poretrykk	Ingen målinger. Ingen nærliggende høydedrag.	Hydrost. (antatt)	0	3	0
Undertrykk					
Kvikkleiremektighet	D/T-sond 131 indikerer 15-20 m.	>H/2	3	2	6
Sensitivitet	Ingen direkte målinger.	30-100 (antatt)	2	1	2
Erosjon	Noe erosjon i bekken	Noe	2	3	6
Inngrep	Bekken lagt i rør/bakkeplanert på delstrekning.	Liten	1	-3	-3
<b>Sum poeng / % av total :</b>			<b>22</b>	<b>/</b>	<b>43</b>

**Tabell 6: Ferdigevaluert faregradsanalyse av sonen Imshaug.**

Faregradsklasse ”lav” skal omfatte soner hvor de aller fleste faktorer har score 0 eller 1. Det vil si at disse sonene, ut fra de oppsatte kriteriene, relativt sett, har en lav sannsynlighet for at skred skal inntreffe. Foreløpige erfaringer og utprøving tilsier at øverste grense for denne klassen settes til  $< 18$  poeng (Gregersen, 2002).

Faregradsklasse ”høy” skal omfatte soner hvor de aller fleste faktorer har score 3. Det vil si at disse sonene ut fra de oppsatte kriteriene, relativt sett, har en høy sannsynlighet for at skred skal inntreffe. På grunnlag av foreløpige erfaringer er grensen satt til  $> 26$  poeng.

Faregradsklasse ”middels”, fra 18 til og med 25 poeng, vil omfatte soner hvor score vil variere fra 0 til 3 (Gregersen, 2002).

Faregraden inndeles i tre klasser avhengig av forholdene som vist i Tabell 7.

Lav:	Gunstige topografiske forhold. Grunnundersøkelser viser at grunnforholdene er akseptable. Det er lite eller ingen aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært liten skredaktivitet i området. Ingen terrenginngrep, eller terrenginngrep har hatt gunstig innvirkning på stabiliteten.
Middels:	Mindre gunstige topografiske forhold. Mangelfulle grunnundersøkelser, eller grunnundersøkelsene viser mindre gunstige grunnforhold. Det er aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært betydelig skredaktivitet i området. Eventuelle terrenginngrep har liten eller ingen stabilitetsforverrende virkning.
Høy:	Ugunstige topografiske forhold. Mangelfulle grunnundersøkelser eller grunnundersøkelsene viser ugunstige grunnforhold. Det er betydelig aktiv erosjon i vassdraget. Det har vært stor skredaktivitet i området. Terrenginngrep med stabilitetsforverrende virkning.

**Tabell 7: Klasseinndeling av faregrad (Gregersen, 2002).**

NGI anbefaler at det utføres supplerende grunnundersøkelser for soner i de sonene med faregradsklasse ”høy.” Behovet for supplerende undersøkelser skyldes at evalueringen, som oftest, er basert på lite informasjon om grunnforholdene. De supplerende undersøkelsene skal gi grunnlag for en forbedret evaluering av faregraden, samt gi grunnlag for en gjennomføring av stabilitetsberegninger slik at behovet for eventuelle sikringstiltak kan bestemmes.

Faregradsevaluering, utført på grunnlag av mangelfull informasjon om grunnforholdene, skal være noe konservativ og forsiktig antatt. Det vil si at sonen kan være angitt for stor, det kan være angitt sone hvor det ikke er reell fare for kvikkleireskred, eller faregraden kan være estimert for høyt. Supplerende undersøkelser vil bedre grunnlaget for vurdering av disse forholdene.

## 2.3 Risikoklasser for kvikkleiresoner

I prioriteringen mellom de 1200 faresonene har NGI sett på *risikoen for skred*, som er en funksjon av faren for skred og konsekvens ( $\text{risiko} = \text{skadekonsekvens} \times \text{faregrad}$ ). Risikoen beskriver den samfunnsmessige skaden ved et skred. Stor fare og alvorlig konsekvens gir altså høy risiko. For å få en enhetlig basis for beregningene er derfor poengverdiene for *skadekonsekvens* og *faregrad* omgjort til ”% av maksimal poengverdi”. Tallverdien for *risiko* fremkommer således ved å multiplisere %-tallet for *skadekonsekvens* med %-tallet for *faregrad*. Risiko er inndelt i fem klasser, hvorav 5 er høyeste risiko. Dette er gjort for å skille ut soner med aller lavest og aller høyest risiko (Gregersen, 2002).

Også for *risiko* er det en viktig målsetting for klassifiseringen å oppnå en god spredning av sonene mellom de fem klassene. Dette kan best oppnås ved at de 228 sonene fordeles mellom de fem klassene i et på forhånd bestemt forhold. Følgende fordeling er valgt: 5 % av antall soner i klasse 1 (laveste risiko), 20 % av antall soner i klasse 2, 50 % av antall soner i klasse 3, 20 % av antall soner i klasse 4 og 5 % av antall soner i klasse 5 (høyeste risiko).

Dette gir følgende inndeling for de fem risikoklassene:

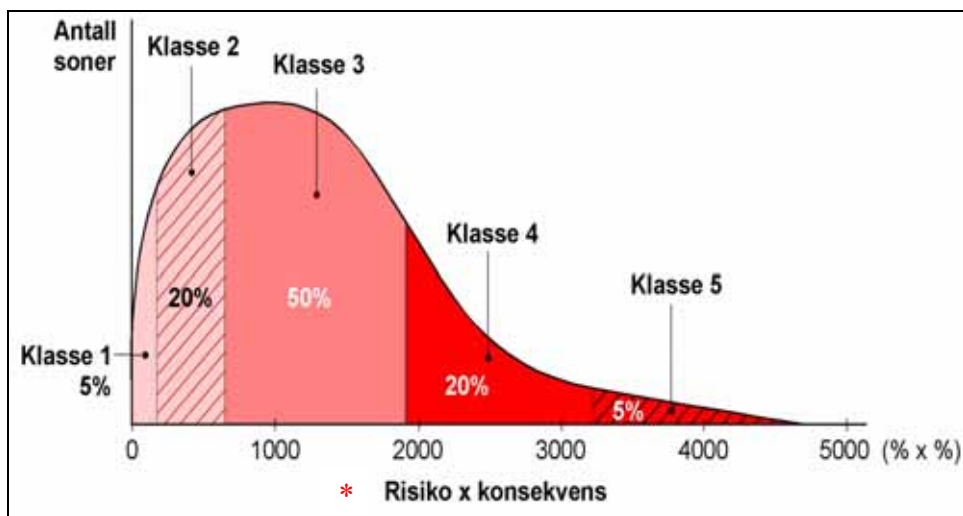
- Risikoklasse 1 omfatter alle soner med tallverdi fra 0 til 166
- Risikoklasse 2 omfatter alle soner med tallverdi fra 167 til 628
- Risikoklasse 3 omfatter alle soner med tallverdi fra 629 til 1 905
- Risikoklasse 4 omfatter alle soner med tallverdi fra 1 906 til 3 203
- Risikoklasse 5 omfatter alle soner med tallverdi fra 3 204 til 10 000

Hvilken risikoklasse en sone kommer i vil være bestemmende for prioriteringen av denne sonen i det videre arbeidet med sikring mot skred, Fase 3 av skredsikringsarbeidet. Avhengig av skadekonsekvensklasse og faregradklassen skal en faresone plasseres i en av fem risikoklasser:

Skadekonsekvensklasse	Faregradklasse		
	Lav	Middels	Høy
Mindre alvorlig:	1	2	3
Alvorlig:	2	3	4
Meget alvorlig:	3	4	5

**Tabell 8: Klasseinndeling av risiko (Gregersen, 2002).**

Fordelingen av faregrad x konsekvens, dvs. risiko på soner i en veiledende fordelingskurve er gitt i Figur 20.



Figur 20: Inndeling av risikoklasser (Gregersen, 2002).

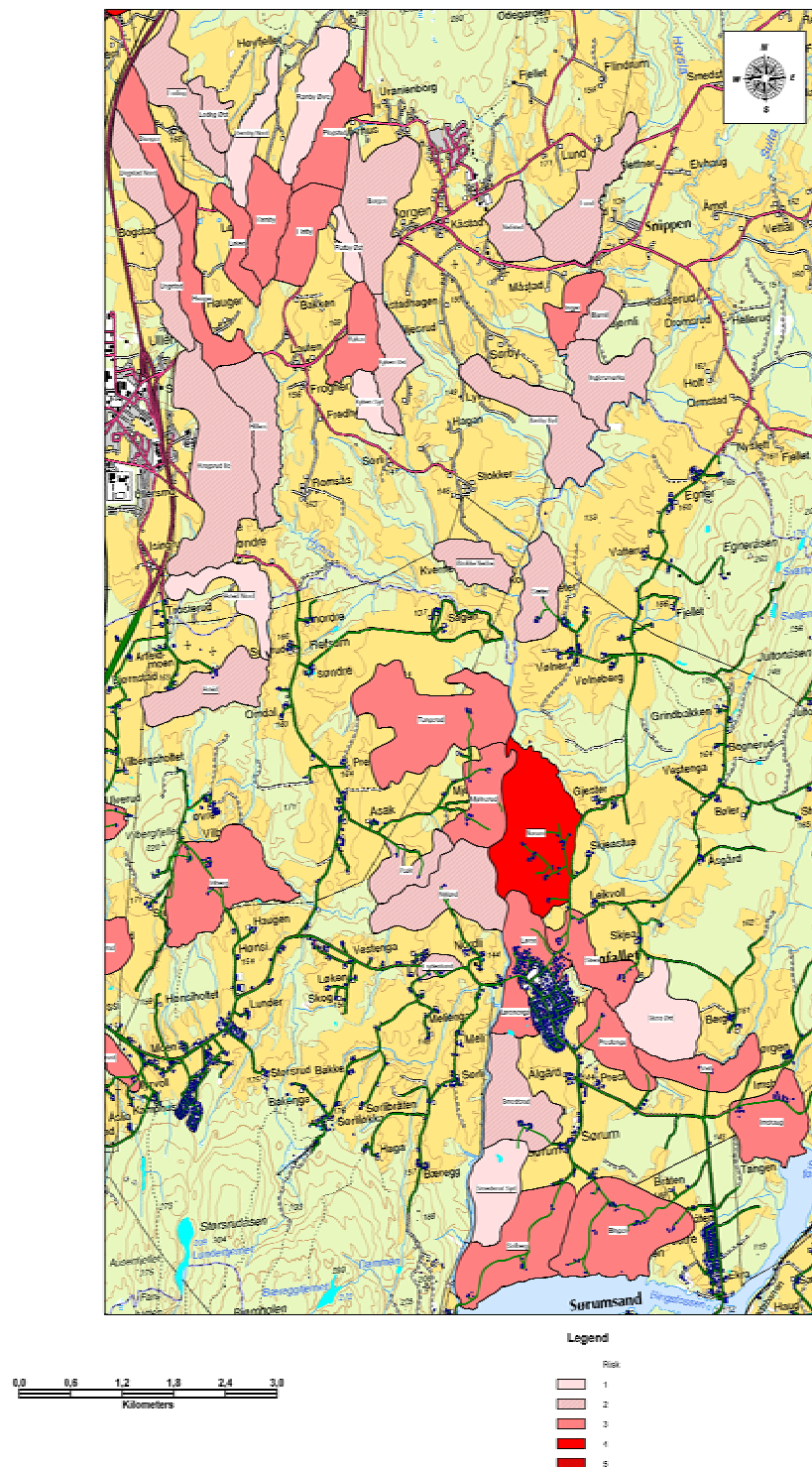
\* Kommentar til Figur 20: Det er trolig ment å stå faregrad x konsekvens, og ikke risiko x konsekvens.

NGI anbefaler at det utføres supplerende grunnundersøkelser for soner i de høyeste risikoklassene, klassene 4 og 5. Det anbefales også at det utføres supplerende grunnundersøkelser for soner i faregradklasse "høy", som ikke er kommet i risikoklassene 4 og 5 (Gregersen, 2005).

For Rømuavassdraget i Sørums kommuner er det 1 sone i risikoklasse 4. Dette er sonen, Norum. For denne sonen anbefales det utført supplerende undersøkelser. I tillegg er det 5 soner i faregradklasse "høy" som ligger i risikoklassene 3. Disse sonene er: Vall, Prestenga, Mjølnerud, Tangerud og Vilberg. For disse sonene bør det vurderes utført supplerende undersøkelser (Gregersen, 2005).

For Rømuavassdraget i Ullensaker kommune er det ingen soner i risikoklasse 4 og ingen i 5. Det er imidlertid 5 soner i faregradklasse "høy" der det bør vurderes utført supplerende undersøkelser. Disse sonene er: Lund, Ramby, Løken, Plogstad og Ramby Øvre (Gregersen, 2005). Det er utarbeidet risikokart over Rømuavassdraget etter overnevnte klassifisering. Her er alle de 47 sonene evaluert og gitt en farge avhengig av hvilken risikoklasse de tilhører, 1-5. Klassifiseringen er illustrert i Figur 21.

The 47 zones of Rømua, Romerike

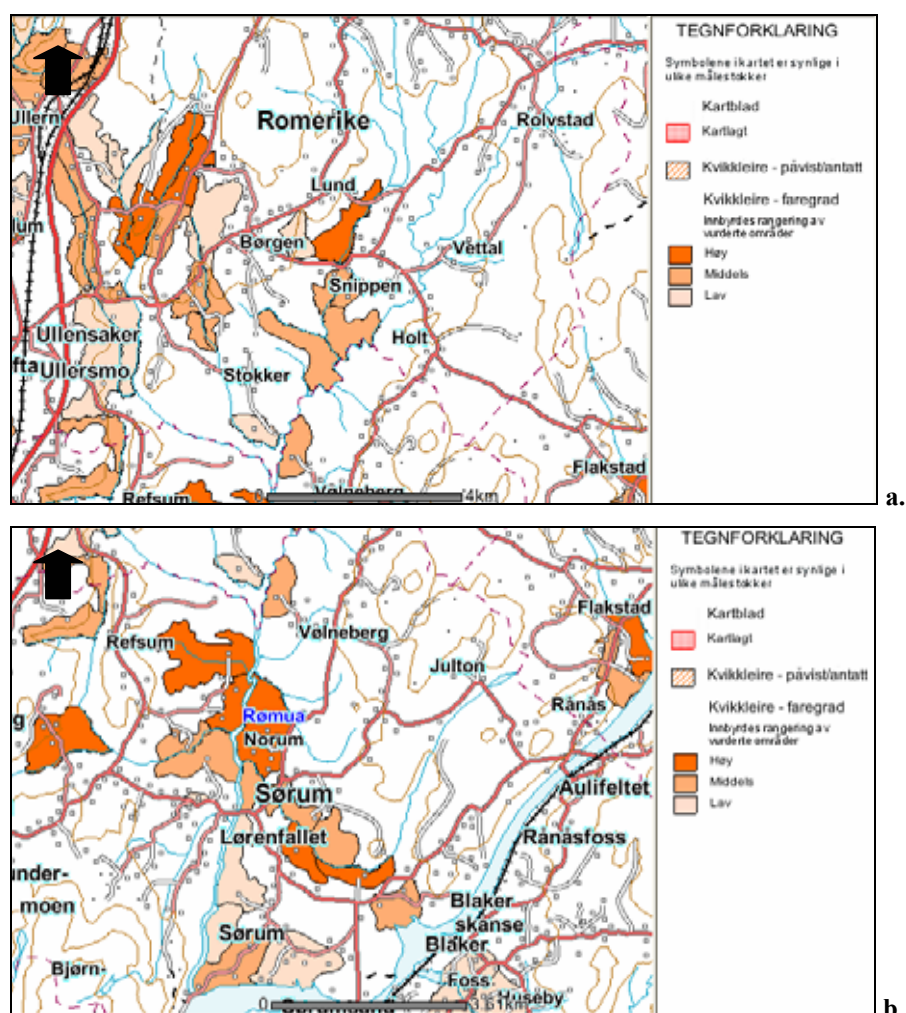


Figur 21: Risikokart over Rømuavassdraget på Romerike.

## 2.4 Offentliggjøring av evalueringer

Det er lagt ut faregradskart på Internett til besiktigelse for den som måtte ønske det, på sidene til Skrednett. Skrednett er en tjeneste fra Norges geologiske undersøkelse (NGU). Her presenteres data og informasjon fra nasjonal skreddatabase. Databasen er utviklet i samarbeid med Statens kartverk, NVE, Statens vegvesen, Jernbaneverket, NGI, Forsvarets militærgeografiske tjeneste, SINTEF, NTNU, Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, Statens landbruksforvaltning og Norsk naturskadepool. Kartene gir informasjon om påvist kvikkleire og hvilken faregradsklasse hver sone kommer innenfor.

Konsekvensklasse og risikoklasse ligger også på Skrednett og for Rømuavassdraget er et utsnitt for faresonekartlegging vist i Figur 22.



Figur 22 a,b: Faresonekartlegging på Romerike. Deler av Ullensaker og Sørsum kommune er med i denne kartinndelingen. Rømuavassdraget ligger øst for toglinjen og E6 som kan sees til venstre på øverste kartet. (Skrednett)



Presentasjonen på karttjenesten til Skrednett er tilpasset brukere uten spesiell geofaglig kompetanse. Det har tidligere vært gjort tanker om disse kartene burde ligge tilgjengelig på nett, da de kan skape lettere panikk hos ”engstelige” mennesker. Med en god forklarende veiledning bør det ikke være noe problem å feiltolke veiledningen eller kartene. Målsettingen med klassifiseringen er at det skal gjennomføres tiltak med sikte på å oppnå et sikrere samfunn.

Det gjøres i tillegg oppmerksomt på at det kan finnes skredfarlige kvikkleireområder også utenfor de angitte risikosoner. Skred utenfor sonene vil i de fleste tilfeller få vesentlig mindre omfang enn skred innenfor sonene, mindre enn 10 dekar.

Risikosonene er resultat av en regional kartlegging og har først og fremst hatt som mål å lokalisere og klassifisere områder hvor det kan være fare for store skred. Det er derfor alltid nødvendig at forekomster av kvikkleire kartlegges og skredfare vurderes ved inngrep i områder med marin leire. Dersom kvikkleire blir påvist og topografien tilsier at skredfare kan være tilstede, anbefales at de samme krav legges til grunn for den geotekniske prosjekteringen som ved byggevirkksomhet innenfor faresoner (Gregersen, 2005).

### **Kapittel 3. Sammenstilling mellom beregnet sikkerhetsfaktor og faregrad**

NGI fullfører i løpet av 2005 en omfattende kartlegging av risikosoner for kvikkleireskred på Østlandet og i Trøndelag. Risikoanalysen som nå går mot avslutningen, startet i 2000. Det har i løpet av disse årene vært en rekke utprøvinger av klassifiseringsmetoden og det vil i det følgende diskuteres hvordan konsekvensevalueringen og faregradsevalueringen fungerer med hensyn på stabilitetsberegninger for Rømuavassdraget.

Det er tidligere foretatt utprøving av klassifiseringsmetoden ved å evaluere 36 faresoner langs to vassdrag, henholdsvis Rømuavassdraget på Romerike og Skienselva i Grenland, Telemark. Området langs Rømua er relativt grisgrendt, mens området langs Skienselva er tett bebyggt. Det er vist at det er et klart skille mellom soner med mindre alvorlig konsekvens i forhold til soner der konsekvensen er mer alvorlig. Klassifiseringer viser også at det generelt er mindre konsekvens ved skred langs Rømua enn langs Skienselva. Dette skyldes den høyere grad av urbanisering langs Skienselva i forhold til Rømua og dokumenterer at tabellen over konsekvens skiller mellom sonene slik som tilsiktet (Gregersen, 2002).

Evalueringsav faregrad skiller relativt godt mellom sonene, men skillet er noe mindre markert enn det som er tilfelle for konsekvensevalueringen. Dette skyldes i betydelig grad at enkelte av faktorene som bestemmer faregraden, først og fremst de geotekniske parametrene, er utilstrekkelig dokumentert for mange av sonene. Det gjøres da en konservativ antagelse som vil være relativt lik for de sonene dette angår. Dette medfører at faregradevalueringen gir mindre skille mellom sonene enn i virkeligheten. Dessuten, at konservative antagelser må benyttes i en viss utstrekning, vil medføre at enkelte soner, på dette stadiet av kartleggingsarbeidet, kan få en for høy faregradklasse (Gregersen, 2002).

En av hovedutfordringene ved denne masteroppgaven ligger i å sammenstille faregradsevalueringen med konkrete stabilitetsanalyser for de 47 sonene i Rømuavassdraget, samt å studere de forskjellige faktorene som er med i konsekvens- og faregradsevalueringen. I det følgende vil det fremstilles en generell gjennomgang av klassifiseringen og eventuelle forslag til endringer i klassifiseringen.

### 3.1 Metoder

For å få innsikt og forståelse for NGI-klassifiseringen er flere kommuner på Østlandet og i Trøndelagsfylkene evaluert. Dette har vært en lærerik og god måte for videre å tilnærme seg utformingen av klassifiseringen. Formålet har vært å se om det er en god korrelasjon i klassifiseringen med hensyn på sammenstilling av faregradsevaluering og konkrete stabilitetsberegninger.

#### 3.1.1 Geoslope W

Slope W er et kanadisk stabilitetsprogram for beregning av sikkerhetsfaktoren for skråninger i jord og fjellmasser. [www.geoslope.com](http://www.geoslope.com) Programmet er benyttet til analyser av 33 soner i Rømuavassdraget (14 av de 47 sonene falt bort grunnet mangel på geotekniske undersøkelser).

### 3.2 Evaluering av faregrad

SINTEF har påpekt at *tidligere skredaktivitet* er gitt vektall 1. De hevder at dette tallet bør være høyere da skredaktivitet er en viktig indikasjon på anstrengt stabilitet. NGI vil derfor se på muligheten for mer presise kriterier (Gregersen, 2002). Kan det for eksempel være en mulighet å se hvor langt ”aggresjonsfronten” (Figur 13, over Hynnavassdraget) (Bjerrum m.fl., 1969; Foster m.fl., 1971) har kommet i bakkant av ravinen? Det vil gi en indikasjon på hvor langt erosjonen i ravinen har kommet. Et nøyaktig anslag kan nok ikke forventes, men det vil muligens være en tilnærming til en mer korrekt observasjon.

NGI har i sin evaluering lagt vekt på at kritisk glideflate i en skråning med en mektig kvikkleireavsetning vil være forskjellig fra en skråning der kvikkleirelaget er tynt. Skråningen med mektig kvikkleireavsetning vil gi lavest sikkerhet. Ved mangel på, eller få borer i en sone vil det være vanskelig å anslå kvikkleiremektigheten. Som nevnt i seksjon 1.4 og vist i Figur 7 er det særlig tre områder i terrenget som er utsatt for dannelse av kvikkleire (Løken, 1983). Vil dette være en medvirkende faktor som man bør ta hensyn til?

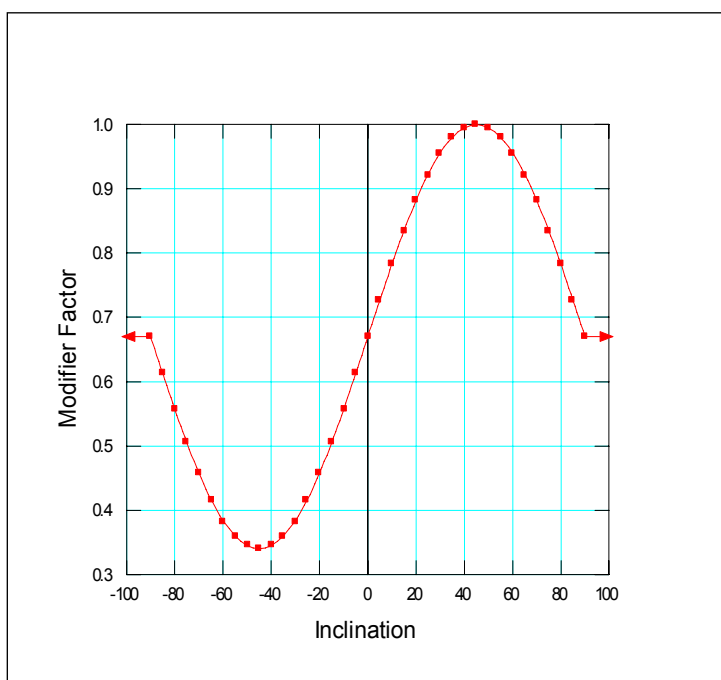
For faktorene som har med kvikkleirens egenskaper å gjøre (*konsolideringsgrad, sensitivitet, kvikkleiremektighet og poretrykk*) har NGI etter mange års erfaring kommet frem til

avgjørende faktorer for skreddannelse. Disse har forblitt uendret, også etter innsigelser fra SINTEF og NTNU (Gregersen, 2002). For soner der det er utført lite målinger av geotekniske egenskaper vil det etter NGIs klassifisering resultere i noe høyere poenggivning. Dette problemet kan reduseres ved flere geotekniske undersøkelser i de aktuelle sonene.

### 3.2.1 Antagelser gjort i Slope W- beregningene

Følgende antagelser er gjort ved utføringen av beregninger med Slope W define, versjon 5.19:

- Gradienten på skråningene er beregnet ut fra evaluering i kvikkleiredatabasen, se Vedlegg A, og anslått ut fra kart plottet i Geomedia Professional versjon 4.2
- Lengden på skråningsprofilen er anslått ut fra kart plottet i Geomedia.
- Avstanden fra bekk eller elv til foten av skråningen varierer i profilene. Det er antatt ved flere forsøk at avstanden fra foten av skråningen til området der elv eller bekk starter ikke har særlig innvirkning på stabiliteten.
- Plataet over skråningen og flaten ved foten er lagd vide slik at de ikke påvirker rammebetingelsene for skjærplanene i Slope W.
- Morgenstern-Price sirkulære skjærplan er lagt til grunn for beregning av sikkerhetsfaktoren for skråningene (2D analyser).
- Parametrene som er brukt til å beskrive avsetningene er en erfaringsmessig kombinerings av NGIs jordparametere og bruk av statens vegvesens håndbok (Statens vegvesen, 1992).
- Det er bestemt at det skal beregnes skjærplan i minimum 5 meters dybde.
- For tørrskorpen er det antatt en udrenert skjærstyrke på 20 kPa og tørrskorpen er antatt å være 2 meter tykk for alle profiler.
- For sand er det antatt en romvekt på  $20 \text{ kN/m}^3$  og en friksjonsvinkel ( $\phi'$ ) på  $32^\circ$ . (Mohr-Coulomb skjærstyrkemodell).
- Leire kan ha en egenvekt fra  $19-21 \text{ kN/m}^3$  avhengig av vanninnholdet. Det har blitt antatt en romvekt på  $19 \text{ kN/m}^3$ , og en udrenert skjærfasthet avhengig av konsolideringen i den enkelte sone.
- For morene er det antatt en romvekt på  $21 \text{ kN/m}^3$  og en friksjonsvinkel ( $\phi'$ ) på  $38^\circ$ .
- Det er videre antatt fjell der borerer avsluttes i hardere lag og overstiger en nedpressingskraft på 30 kPa. Det være seg morene eller berggrunn.



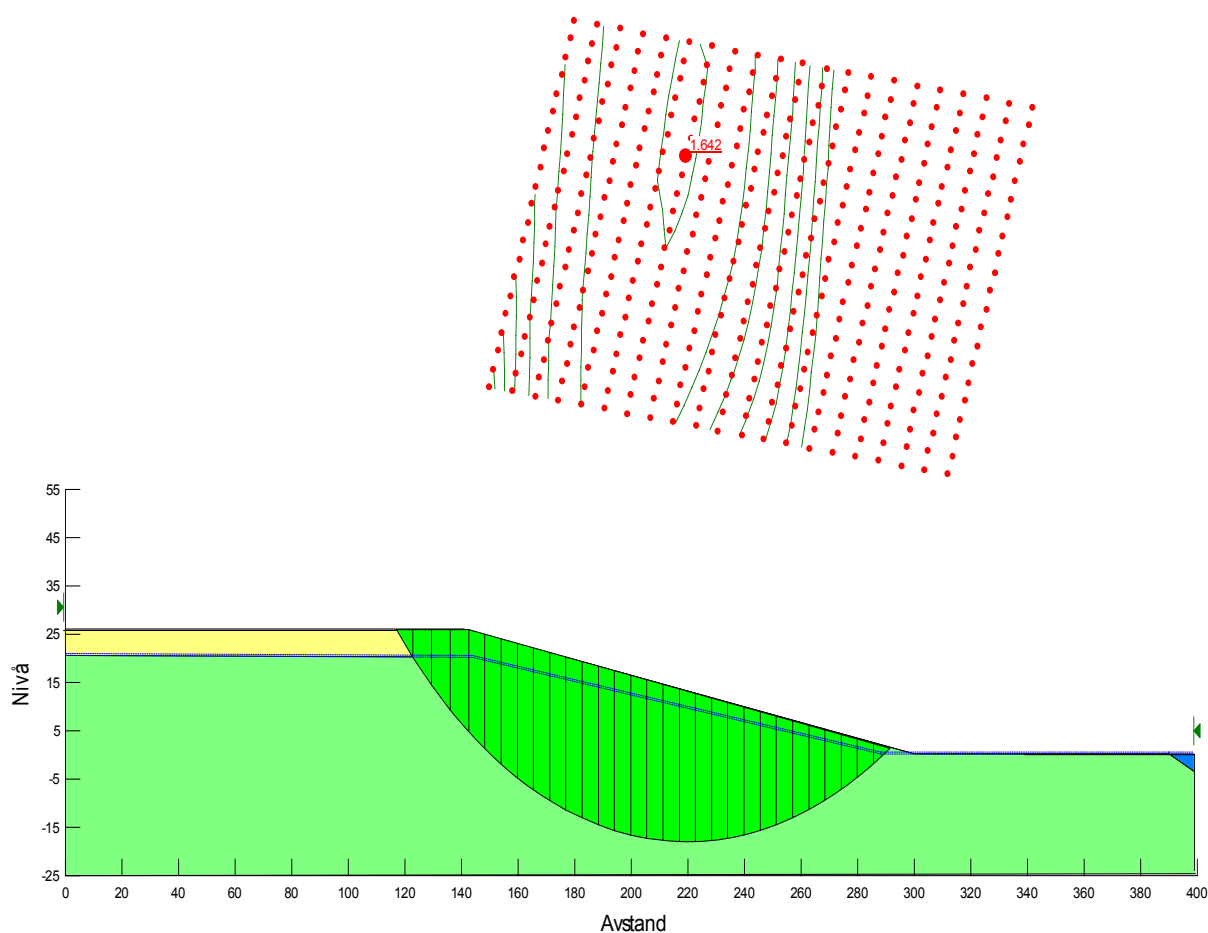
**Figur 23: Anisotropi er benyttet for å anslå den udrenerte skjærstyrken langs glideflaten.**

- Med anisotropikurven i Figur 23, interpoleres målinger for den udrenerte skjærstyrken og man får et profil som også tar hensyn til anisotrop skjærstyrke. Begrepet anisotropi betyr at et materials egenskaper avhenger av hvilken retning man måler styrken i jorden. Anisotropien håndteres som i NGIs ADP-analyse (Aktiv- direkte- passiv).
- Grunnvannspeilet er for alle platåer satt til 2 meters dyp i mangel på gode poretrykksmålinger. Det er antatt at grunnvannspeilet ligger i plan med terreng ved foten av skråningen, og ut mot bekk eller vann. Se Figur 24.

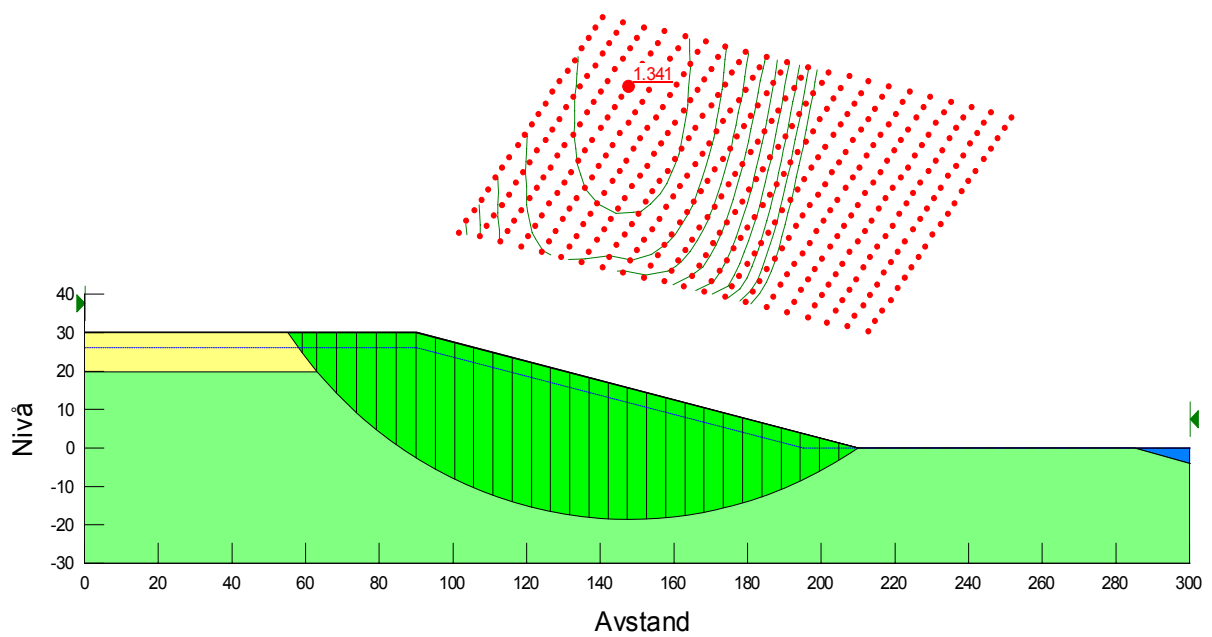
### 3.2.2 Resultater fra Slope W- beregninger

Som nevnt i seksjon 2.3 er det for Rømuavassdraget 1 sone i risikoklasse 4. I tillegg er det 10 soner i faregradklasse ”høy”. For 7 av disse sonene er stabilitetsberegningene med angitt kritisk glideflate vist i Figurene 24-30. For de resterende sonene (Ramby, Løken, Plogstad og Øvre Ramby) er det ikke utarbeidet stabilitetsanalyser grunnet mangel på geotekniske undersøkelser. NGI-rapporter (Gregersen, 1990a,b & Gregersen, 1995a,b) over området er lagt til grunn for tolkninger av boringer i sonene.

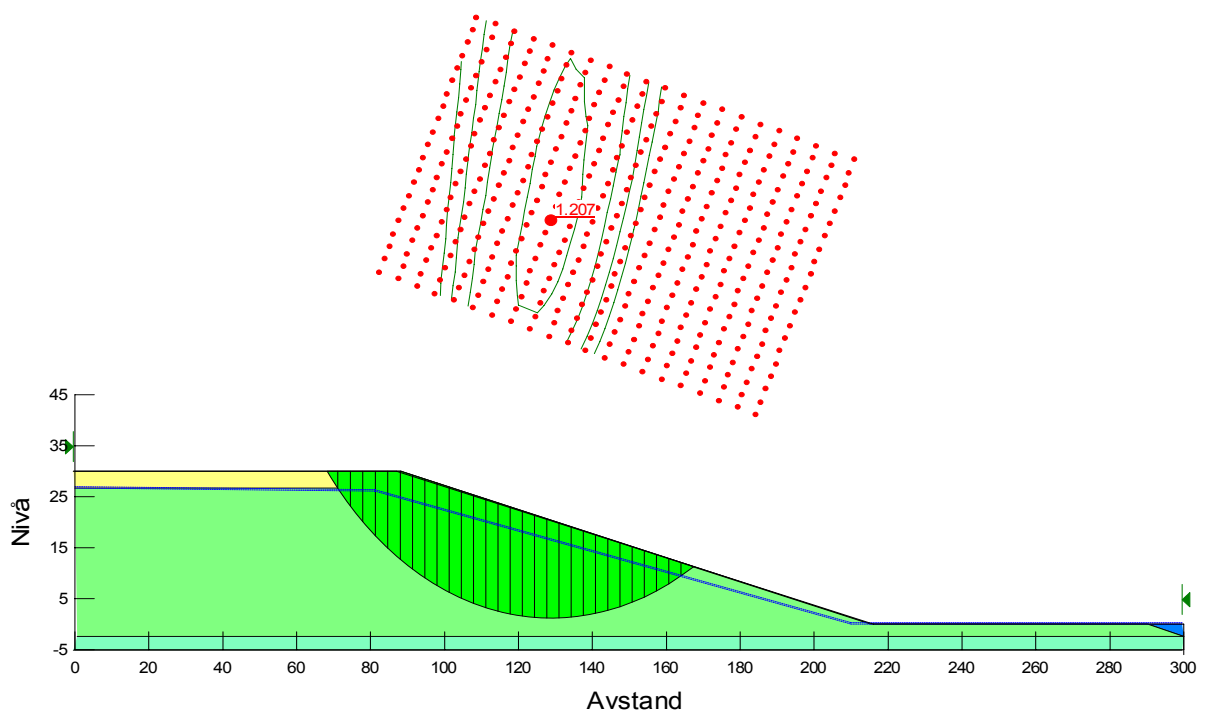
Det presiseres at forholdet på skalaene i påfølgende figurer ikke er 1:1, og at skråningene vil være slakere i virkeligheten.



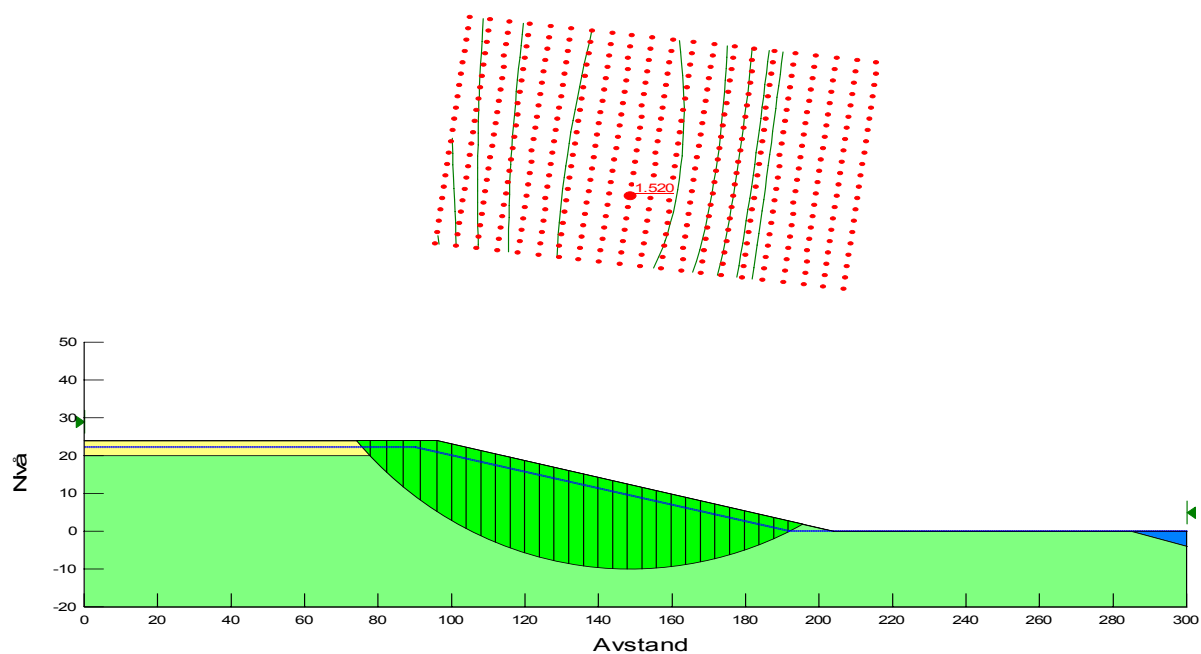
**Figur 24: Profil over Norum. Utfra tolkning av boringer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være SF=1,64.**



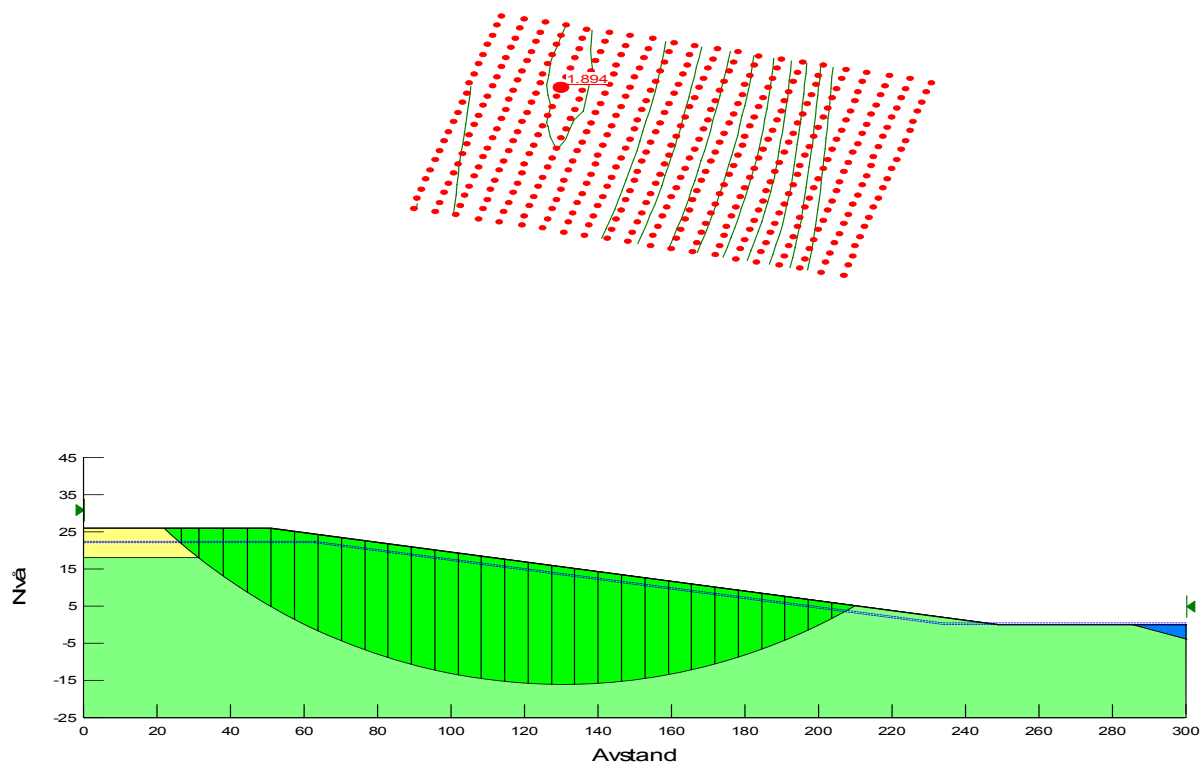
**Figur 25: Profil over Vall. Utfra tolkning av borerer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være SF=1,34.**



**Figur 26: Profil over Prestenga. Utfra tolkning av borerer er det antatt sand over leire og morene. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være SF=1,21.**

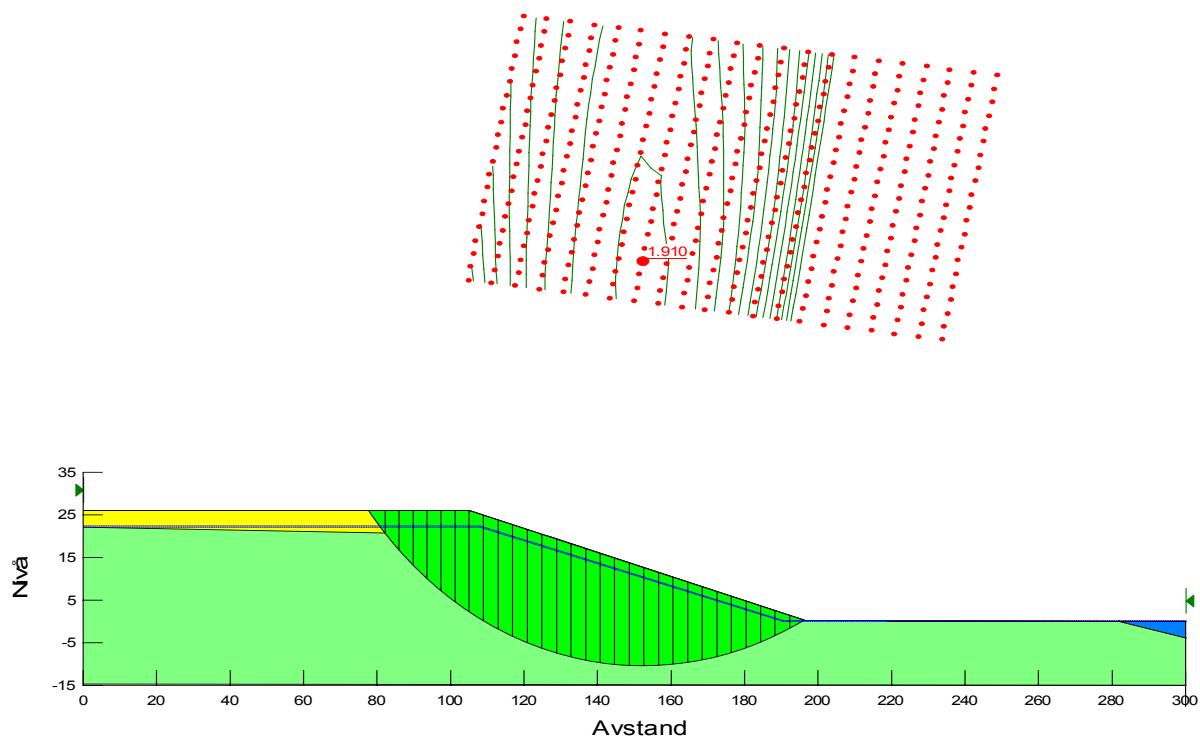


**Figur 27: Profil over Mjølnerud. Utfra tolkning av borerer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være SF=1,52.**

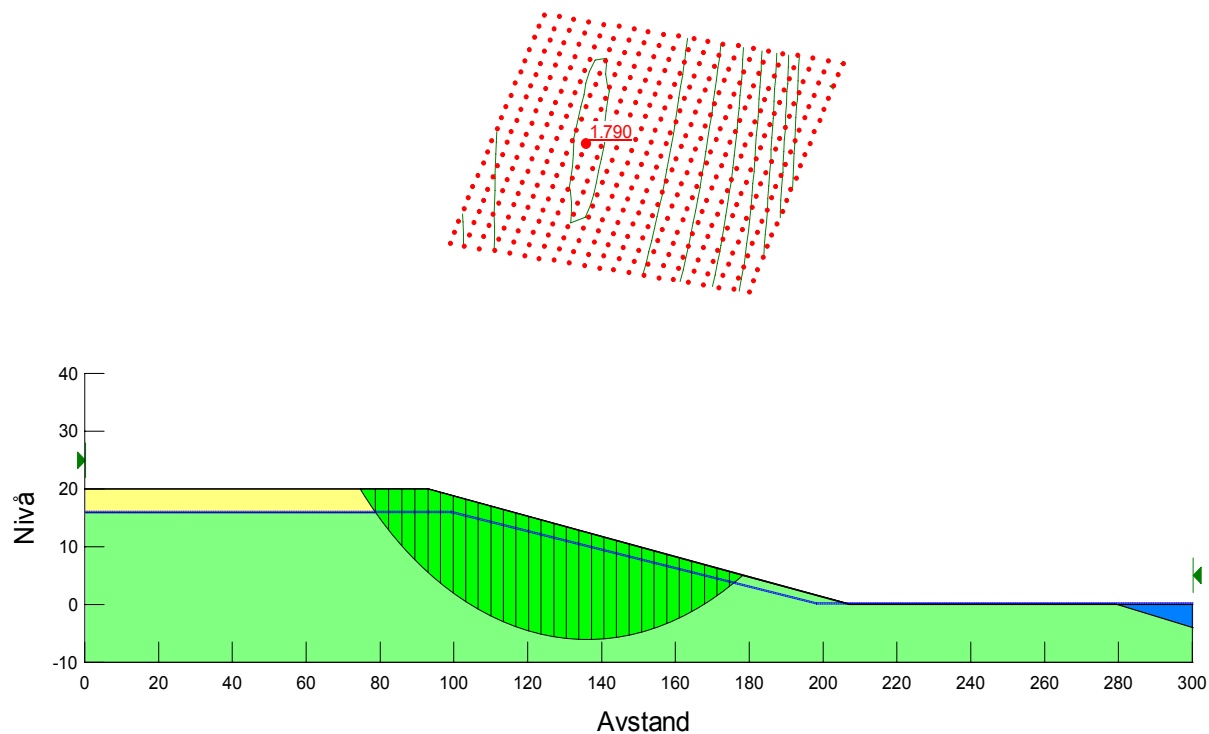


**Figur 28: Profil over Tangerud. Utfra tolkning av borerer er det antatt sand over mektig leirelag. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være SF=1,89.**





**Figur 29: Profil over Vilberg. Utfra tolkning av borerer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være SF=1,91.**



**Figur 30: Profil over Lund. Utfra tolkning av borerer er det antatt sand over leire. Sikkerhetsfaktoren er beregnet til å være SF=1,79.**

Beregnete sikkerhetsfaktorer for soner, med sone-id, der det er gjort geotekniske undersøkelser er vist i Tabell 9.

Sone-id	Sonenavn	Sikkerhetsfaktor	Sone-id	Sonenavn	Sikkerhetsfaktor
1	Imshaug	3,24	22	Ingjer	1,55
2	Bingen	3,55	23	Bjørnli	2,04
3	Solberg	3,11	24	Lund	1,79
5	Smedsrud	3,64	25	Nafstad	2,61
6	Vall	1,34	26	Vilberg	1,91
8	Skea	2,33	27	Arteid	1,82
9	Prestenga	1,21	29	Krogslrud lte	1,84
11	Løren	2,77	30	Hillern	2,09
12	Frydenlund	2,86	31	Hauger	2,57
13	Nyland	2,68	32	Bogstad	1,88
14	Asak	2,94	33	Stanger	2,09
15	Norum	1,64	34	Bogstad nord	2,07
16	Mjølnerud	1,52	35	Loding	2,55
17	Tangerud	1,89	43	Borgen	1,91
18	Stokke nedre	2,76	45	Kyken	1,96
19	Sæter	2,12	46	Kyken øst	1,92
20	Sørby syd	1,46			

**Tabell 9: Sikkerhetsfaktorer beregnet for sonene i Rømuavassdraget der det er foretatt boringer.**

Det er viktig å merke seg at sikkerhetsfaktorene er beregnet utfra en tolkning av den mest kritiske skråningen på hver sone og ikke for hele sonen.

Trolig vil man komme frem til andre sikkerhetsfaktorer om andre skråninger tas i betraktning.

### 3.2.3 Resultat av sammenstillingen mellom Sikkerhetsfaktor og Faregrad

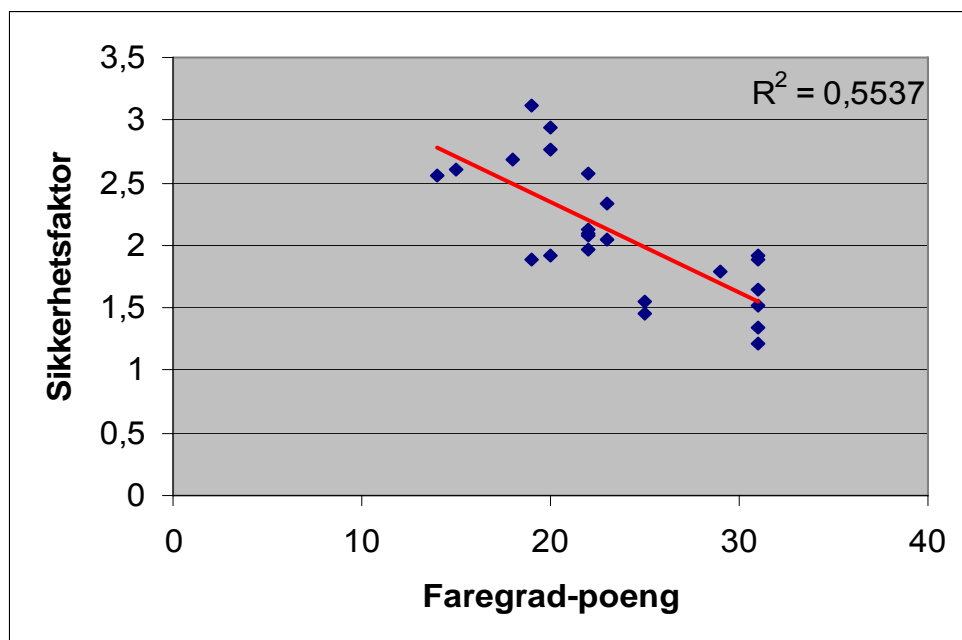
Det er ønskelig å finne en sammenheng mellom vurdert faregrad for en sone og den beregnede sikkerhetsfaktoren for den samme sonen. En sone som blir klassifisert med faregrad ”lav”, bør også få en høy beregnet sikkerhetsfaktor. Derimot, hvis faregraden klassifiseres som ”høy” bør den beregnede sikkerhetsfaktoren bli lav.

I Tabell 10 gis en sammenstilling for de soner i Rømuavassdraget der boringer er utført, og det ikke er gjort inngrep av betydning. På Figur 31 er det mulig å anslå en fordelingskurve ut fra 24 soner der det ikke er gjort inngrep. Denne kurven er i området av det man hadde antatt å finne ut, men da antallet evaluerte soner trolig er noe lavt er det vanskelig å trekke en konklusjon fra kurven.

Den røde streken i Figur 31, beregnet ved regresjonsanalyse, gir en indikasjon på en korrelasjon mellom beregnet sikkerhetsfaktor for en skråning og faregraden til samme sone. Korrelasjonskoeffisienten,  $R$  uttrykker sammenheng mellom faregrad på den ene siden, og sikkerhetsfaktor på den andre siden. Variansen,  $R^2$  uttrykker variablenes forklaringskraft, dvs. at den er et mål for hvor stor andel av variasjonen som faregrad og sikkerhetsfaktoren forklarer til sammen.  $R^2$  varierer mellom 0 og 1, hvor 1 tilsvarer eksakt korrelasjon og 0 tilsvarer absolutt ingen korrelasjon.

Sone-id	Sonenavn	Faregrad-poeng	SF	Sone-id	Sonenavn	Faregrad-poeng	SF
1	Imshaug	22	3,24	22	Ingjer	25	1,55
6	Vall	31	1,34	23	Bjørnli	23	2,04
8	Skea	23	2,33	24	Lund	29	1,79
9	Prestenga	31	1,21	25	Nafstad	15	2,61
11	Løren	20	2,77	26	Vilberg	31	1,91
13	Nyland	18	2,68	31	Hauger	22	2,57
14	Asak	20	2,94	32	Bogstad	19	1,88
15	Norum	31	1,64	33	Stanger	22	2,09
16	Mjølnrud	31	1,52	34	Bogstad nord	22	2,07
17	Tangerud	31	1,89	35	Loding	14	2,55
19	Sæter	22	2,12	45	Kyken	22	1,96
20	Sørby syd	25	1,46	46	Kyken øst	20	1,92

Tabell 10: Soner i Rømuavassdraget der boringer er utført, og det ikke er gjort inngrep av betydning.



Figur 31: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Med i grafen er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er foretatt. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,55$ .

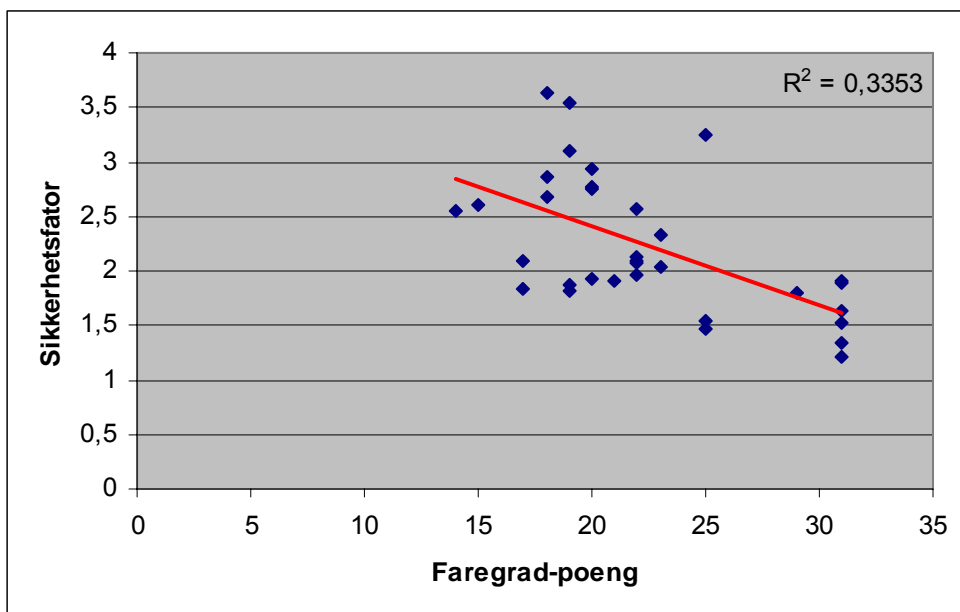
Dette er kun 24 av det totale antall soner og er statistisk ikke nok til å trekke en pålitelig konklusjon. Ser man på det totale antallet soner der boringer er utført, og ser bort fra inngrepene som er gjort, får man trolig en mer troverdig kurve. Totalt har vi 33 soner i Rømuavassdraget som kan brukes for å anslå korrelasjonen mellom sikkerhetsfaktoren og faregraden. For å kunne benytte alle 33 sonene i en korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor og faregrad vil må man se bort fra inngrepene som er foretatt i 9 av de 33 sonene. I Tabell 11 og Figur 32 er det antatt at alle sonene er uberørte (uten inngrep).

Da vil altså en sone som eksempelvis har fått poengsum 23 i endelig faregradklassifisering, altså ”*middels*” faregrad, og inngrep på denne sonen har ført til en forbedring på -6 poeng (Score, 2 x Vekttall, -3), ende opp i kategorien ”*høy*”, med 29 i poengsum.

For de 9 ekstra sonene som er tatt med i Tabell 11 og Figur 32 er det blitt gjort inngrep som har ført til en lavere faregrad. For alle sonene er Faregrad-poeng oppgitt med hensyn på at ingen inngrep er foretatt.

Sone-id	Sonenavn	Faregrad-poeng	SF	Sone-id	Sonenavn	Faregrad-poeng	SF
1	Imshaug	25	3,24	22	Ingjer	25	1,55
2	Bingen	19	3,55	23	Bjørnli	23	2,04
3	Solberg	19	3,11	24	Lund	29	1,79
5	Smedsrud	18	3,64	25	Nafstad	15	2,61
6	Vall	31	1,34	26	Vilberg	31	1,91
8	Skea	23	2,33	27	Arteid	19	1,82
9	Prestenga	31	1,21	29	Krogslrud Ile	17	1,84
11	Løren	20	2,77	30	Hillern	17	2,09
12	Frydenlund	18	2,86	31	Hauger	22	2,57
13	Nyland	18	2,68	32	Bogstad	19	1,88
14	Asak	20	2,94	33	Stanger	22	2,09
15	Norum	31	1,64	34	Bogstad nord	22	2,07
16	Mjølnrud	31	1,52	35	Loding	14	2,55
17	Tangerud	31	1,89	43	Borgen	21	1,91
18	Stokke nedre	20	2,76	45	Kyken	22	1,96
19	Sæter	22	2,12	46	Kyken øst	20	1,92
20	Sørby syd	25	1,46				

**Tabell 11: Soner i Rømuavassdraget der boringer er utført, og det er antatt ingen inngrep av betydning.**



**Figur 32: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er antatt utført. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,33$ .**

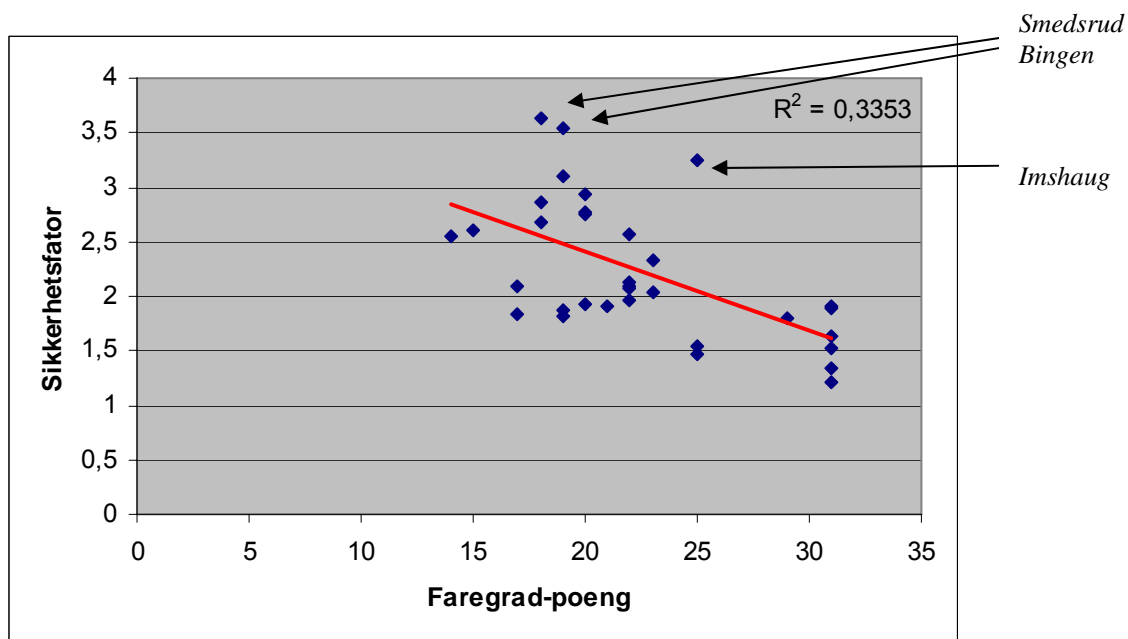
Fra Figur 32 kan man se at korrelasjonen fra Figur 31 har forandret seg en del og det er i tillegg mer "scatter" i korrelasjonen. Hvorfor dette skjer er uvisst, men en forklaring kan være at inngrepene er blitt feiltolket i faregradsevalueringene. De kan enten ha blitt tolket som for store eller for små inngrep. Det kan også tenkes at de geotekniske undersøkelsene er blitt feiltolket. Resultatet av sammenstillingen av faregrad og beregningsmessig sikkerhetsfaktor for disse 33 sonene er nok ikke et representativt utvalg for å konkludere med at det er en korrelasjon mellom faregrad for en sone og sikkerhetsfaktor for en skråning, men det er muligens et steg i riktig retning.

### 3.2.4 Usikkerhet ved data

Det er mange usikkerhetsmomenter både i beregningene gjort med Slope W og i metoden til NGI. Metoden er som nevnt utviklet for å foreta en første klassifisering av kvikkleiresoner som et hjelpemiddel for prioritering av ressurser i arbeidet for sikring mot kvikkleireskred.

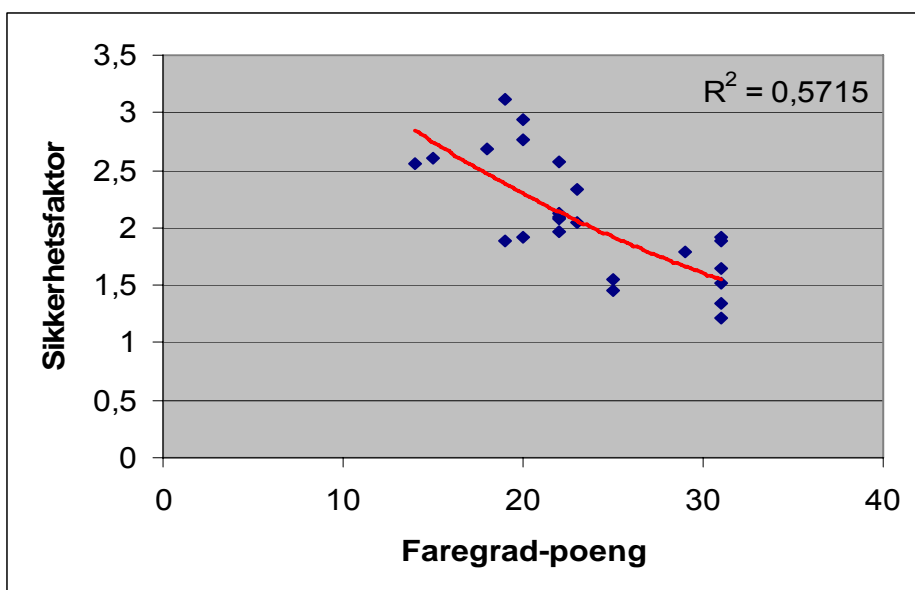
En svakhet ved stabilitetsvurderingen er mangelen på nok og gode geotekniske undersøkelser fra sonene. Det er vanskelig å vite hvilken tykkelse et lag har over et større område. Der det

ikke er utført boringer kan man heller ikke si noe konkret om kvikkleirens egenskaper. Vurderingen av skråningshøyde og-helning kan feiltolkes og en soners beregnede sikkerhetsfaktor vil dermed endres. Dette gjelder muligens for Imshaug og Bingen. I de foregående figurer og beregninger er skråningen ned mot Glomma anslått, men skråning mot raviner i sonene har trolig noe brattere helningsgrad. For Smedsrud er trolig et tykt morenelag årsaken til den høye beregnede sikkerhetsfaktoren.

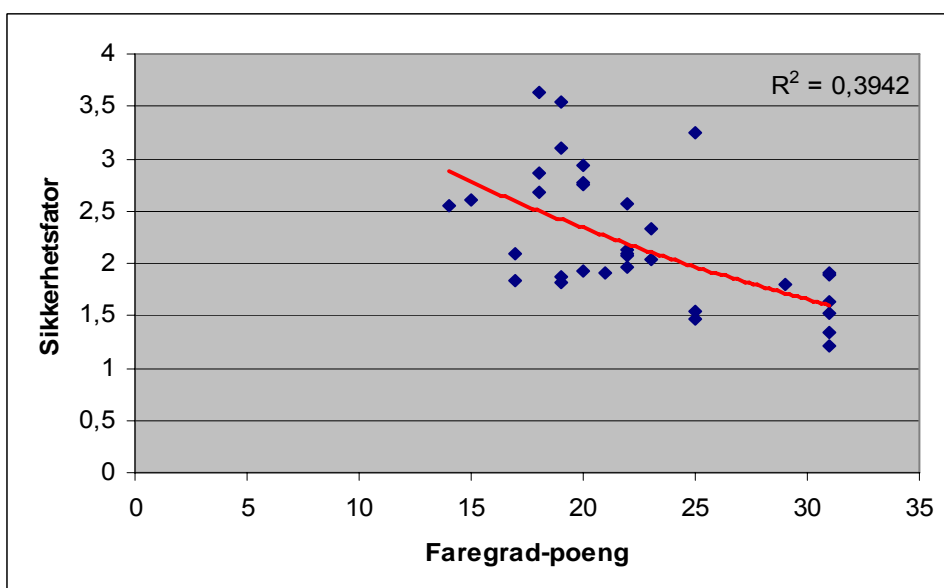


**Figur 33: Avvik i sikkerhetsfaktor korrelert mot Faregrad-poeng for 3 utvalgte soner. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,33$ .**

Fra Figur 31-33 ser man at korrelasjonen mellom faregrad og beregnet sikkerhetsfaktor er tenkt i en lineær sammenheng. Med tanke på at faregraden er en antatt skala vil det være vanskelig å tro at det skal dannes en lineær korrelasjonslinje. Fra et utenforstående synspunkt vil Faregrad-poeng-givningen forstås slik at en sone med Faregrad-poeng 10, vil være mye sikrere enn en sone med Faregrad-poeng 15. Kan det antas en mer logaritmisk form? Det samme vil gjelde der en sone med Faregrad-poeng 30 vil ha mye høyere sannsynlighet for skred enn for en sone der Faregrad-poeng er 25. Ved fremstilling av korrelasjonen i logaritmisk sammenheng for sonene i Figur 31 og 32, får disse en høyere regresjonsfaktor. Resultatene fra Figur 31 og 32 fremstilles i Figur 34 og 35 med hensyn på en logaritmisk sammenheng. Endringen i regresjonsfaktoren er ikke særlig høyere og det må trolig evalueres flere soner for å få en klarere effekt.



**Figur 34:** Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Med i grafen er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er foretatt. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,57$  ved en antagelse om en logaritmisk sammenheng.



**Figur 35:** Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor kalkulert i Geoslope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er antatt utført. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,39$  ved en antagelse om en logaritmisk sammenheng.

Som man kan se av endringen av variansen vil korrelasjonen ved logaritmisk sammenheng gi litt bedre holdbarhet enn for en lineær sammenheng, men ikke nok til å trekke en konklusjon om logaritmisk fordeling.

I Figur 33 er 3 soner avmerket, etter skjønnsmessig vurdering, som avviker fra de andre 30 punktene. Disse 3 sonene er ikke valgt ut kun fordi de har mye større avvik enn de andre sonene, men geologien og topografien ved disse sonene har trolig noe med avvikene å gjøre. Det kan videre diskuteres om avvikene til de 3 sonene skyldes den skjønnsmessige vurderingen og derfor er en feilkilde. Forklaring av avvikene for disse 3 sonene er gitt i påfølgende tekst.

De 3 utvalgte sonene ligger i Sørums kommun og to av sonene grenser ned mot Glomma.

1. Imshaug

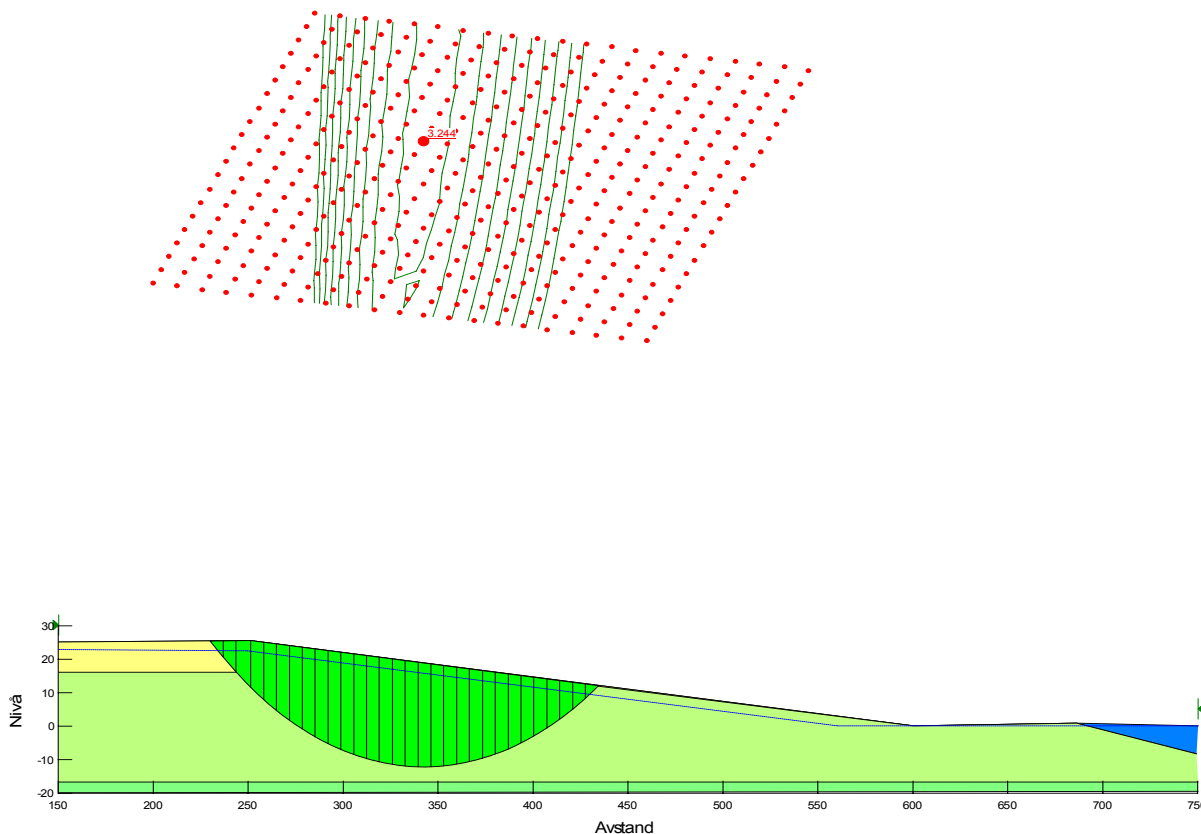
Lav gradient 1:10 (350/25) og tykt sandlag på 7 meter, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,24. Se Figur 36.

2. Bingen

Lav gradient 1:12 (450/30) og tykt sandlag på 5 meter, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,55. Se Figur 37.

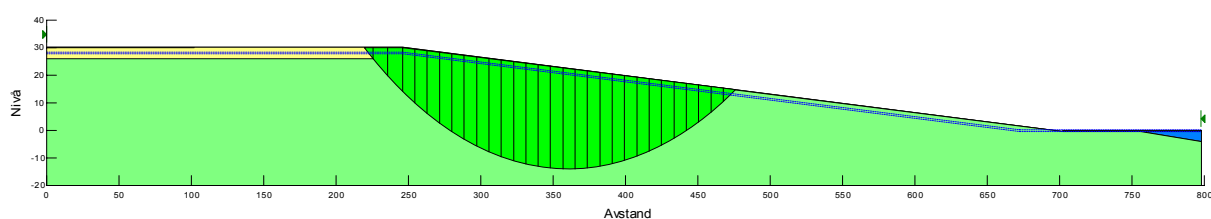
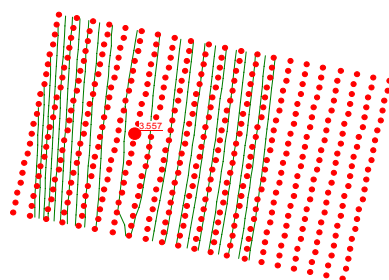
3. Smedsrud

Lav gradient 1:9 (220/23) og sandlag på 3 meter, samt tolket morene fra omtrent 20 meter under terrengoverflate, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,64. Se Figur 38.

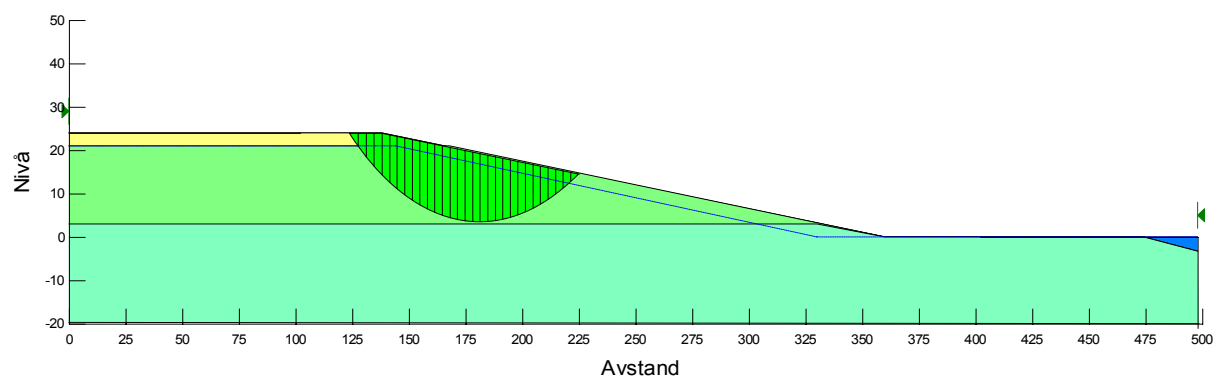
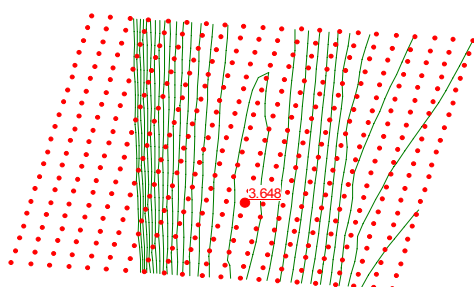


**Figur 36: Imshaug- Lav gradient 1:10 (350/25) og tykt sandlag på 7 meter, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,24.**





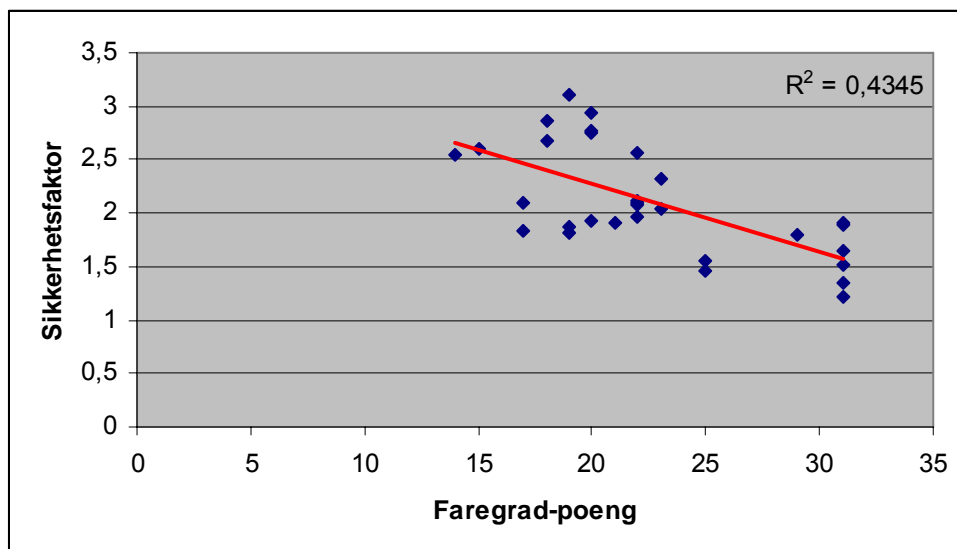
**Figur 37: Bingen- Lav gradient 1:12 (450/30) og tykt sandlag på 5 meter, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,55.**



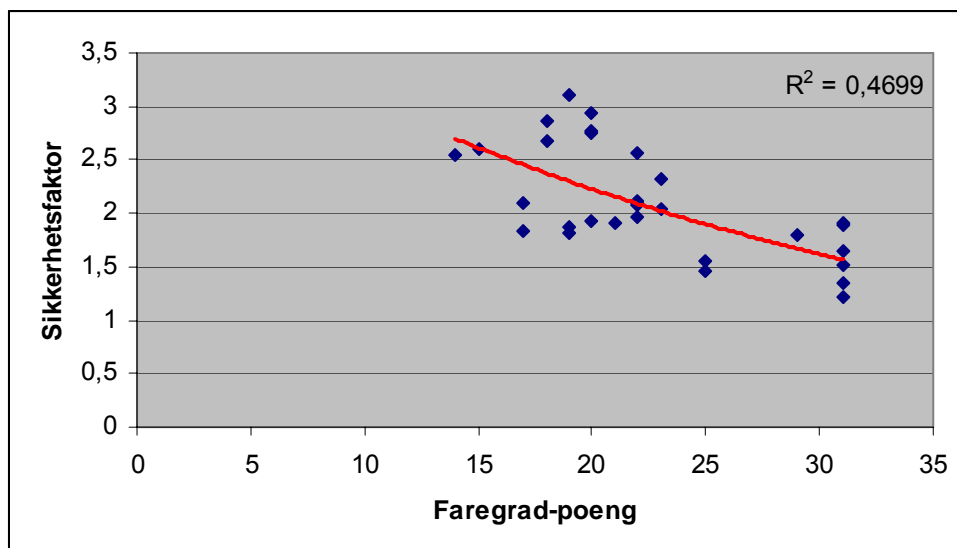
**Figur 38: Smedsrud- Lav gradient 1:9 (220/23) og sandlag på 3 meter, samt tolket morene (22 meter) fra omtrent 20 meter under terrengoverflate, fører til høy sikkerhetsfaktor, SF=3,64.**

Disse sonene er ikke svært ulike de resterende 30 sonene, men den slake helningsgraden (Bingen og Imshaug) og morenemektigheten (Smedsrud) er tilsynelatende hovedårsakene til at sikkerhetsfaktoren for disse 3 sonene blir høy.

I lys av denne sammenhengen vil det være nyttig å se på korrelasjon mellom fargegrad og beregnet sikkerhet uten disse 3 sonene.



**Figur 39:** Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifisering. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er antatt utført. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,43$  ved en antagelse om en lineær sammenheng. (3 soner er fjernet, etter skjønnsmessig vurdering, som avviker fra de andre 30 punktene.)



**Figur 40:** Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor beregnet i Slope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifisering. Inkludert er kun soner der det er gjort boringer, og der ingen inngrep er antatt utført. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,47$  ved en antagelse om en logaritmisk sammenheng. (3 soner er fjernet, etter skjønnsmessig vurdering, som avviker fra de andre 30 punktene.)

Fra den lille forskjellen i variansen,  $R^2$ , mellom lineær og logaritmisk korrelasjon er det vanskelig å si hvilken fordeling som passer best for sammenhengen mellom Faregrad-poeng og beregnet sikkerhetsfaktor. Dersom flere soner tas med i et videre studie av denne problemstilling, vil det trolig bli statistisk mer holdbarhet av analysen samtidig som en klarere korrelasjonstendens vil tre frem.

### **3.2.5 Effekten av stabiliserende tiltak på faregrad og beregnet sikkerhetsfaktor**

For noen av de 9 sonene i Rømuavassdraget, der det er utført inngrep og geotekniske undersøkelser, blir det i det følgende beregnet en stabilitetsendring i sikkerhetsfaktoren. Av størrelsen på inngrepet gis en skjønnsmessig vurdering ved beregningene i Slope W. Inngrepstørrelsen er hentet fra evalueringer gjort i Rømuavassdraget. Se Vedlegg A. Endringen i beregnet sikkerhetsfaktor vil gi en pekepinn på om sikringstiltak gir en effektiv endring av stabiliteten.

Soner der det er utført inngrep:

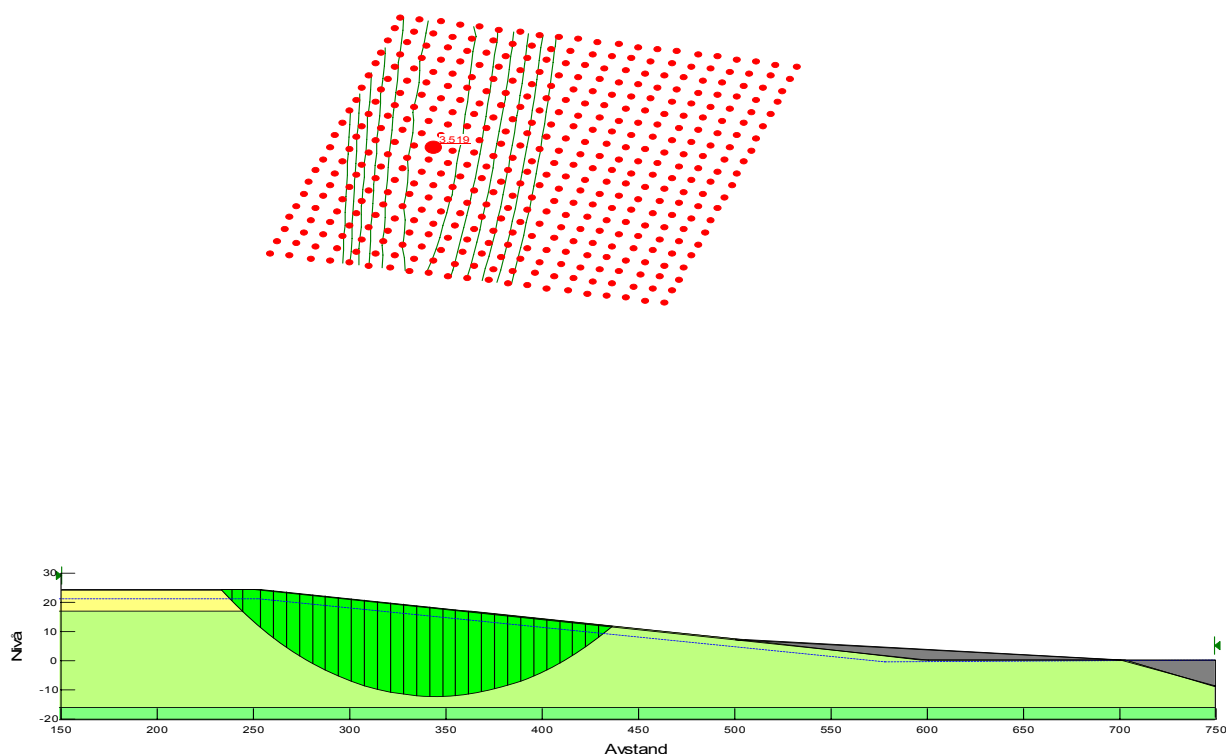
1. Imshaug: Bekken er lagt i rør og det bakkeplanert på delstrekning.
2. Bingen: Del av hovedbekk og sidebækker er lagt i rør.
5. Smedsrud: Dyrket mark er bakkeplanert.
12. Frydenlund: Ravine i nord og syd er lagt i rør.
18. Stokke nedre: Bakkeplanert mot Rømua.
27. Arteid: Bakkeplanert de øverste 200 meterne av Asakbekken samt hele sideravinen.
29. Krogsrud Ile: Ravinen i syd er lagt i rør og planert. Området er lagt ut til golfbane. Ravine i øst er lagt i rør og planert.
30. Hillern: Ravine i vest er lagt i rør og gjenfylt. Skråningshøyden i øst er redusert betydelig.
43. Borgen: Bekk er lagt i rør og ravinen er oppfylt.

Sonene er listet med Faregrad-poeng før og etter inngrep, beregnet sikkerhetsfaktor før inngrep og estimert størrelse på inngrepene i Tabell 12.

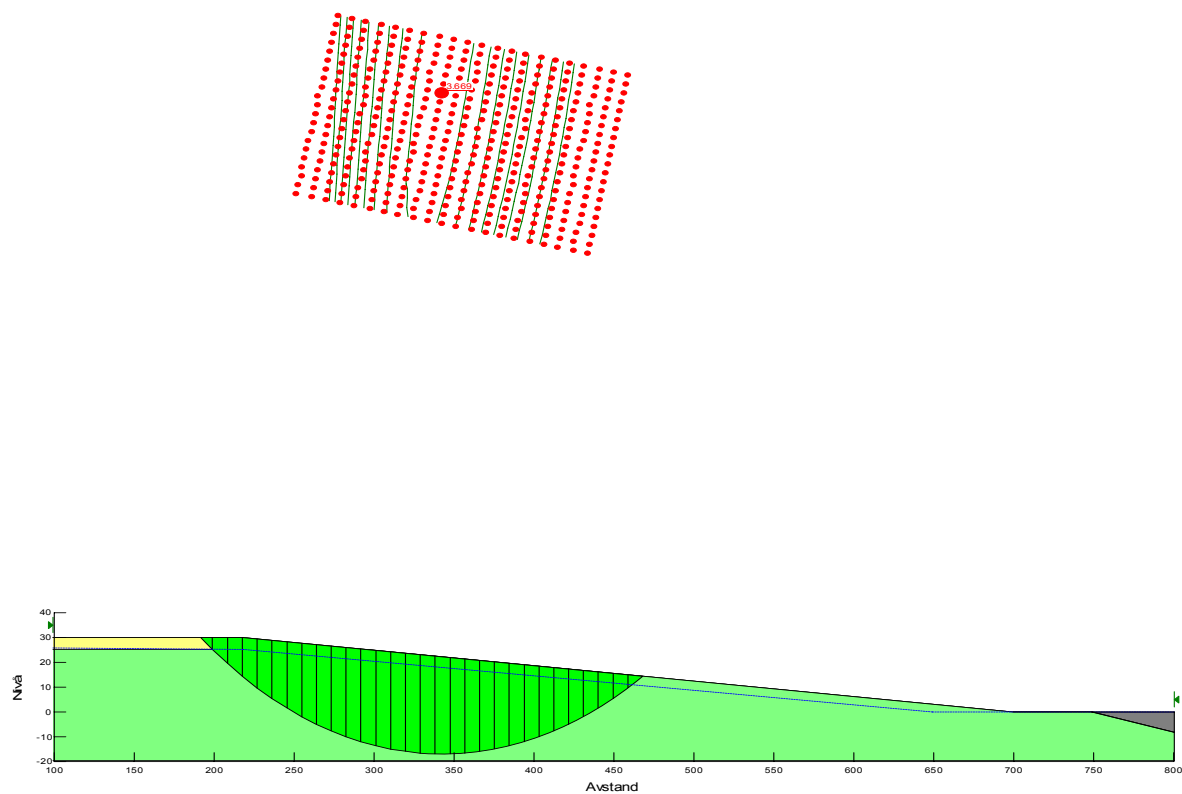
Sone-id	Sonenavn	Faregrad-poeng før inngrep	SF før inngrep	Inngrepstørrelse	Faregrad-poeng etter inngrep
1	Imshaug	22	3,24	Liten forbedring	19
2	Bingen	19	3,55	Liten forbedring	16
5	Smedsrud	18	3,64	Noe forbedring	12
12	Frydenlund	18	2,86	Noe forbedring	12
18	Stokke nedre	20	2,76	Liten forbedring	17
27	Arteid	19	1,82	Noe forbedring	19
29	Krogsrud Ile	17	1,84	Stor forbedring	8
30	Hillern	17	2,09	Stor forbedring	8
43	Borgen	21	1,91	Stor forbedring	12

**Tabell 12: Faregrad-poeng før og etter inngrep, beregnet sikkerhetsfaktor før inngrep og estimert størrelse på inngrepene.**

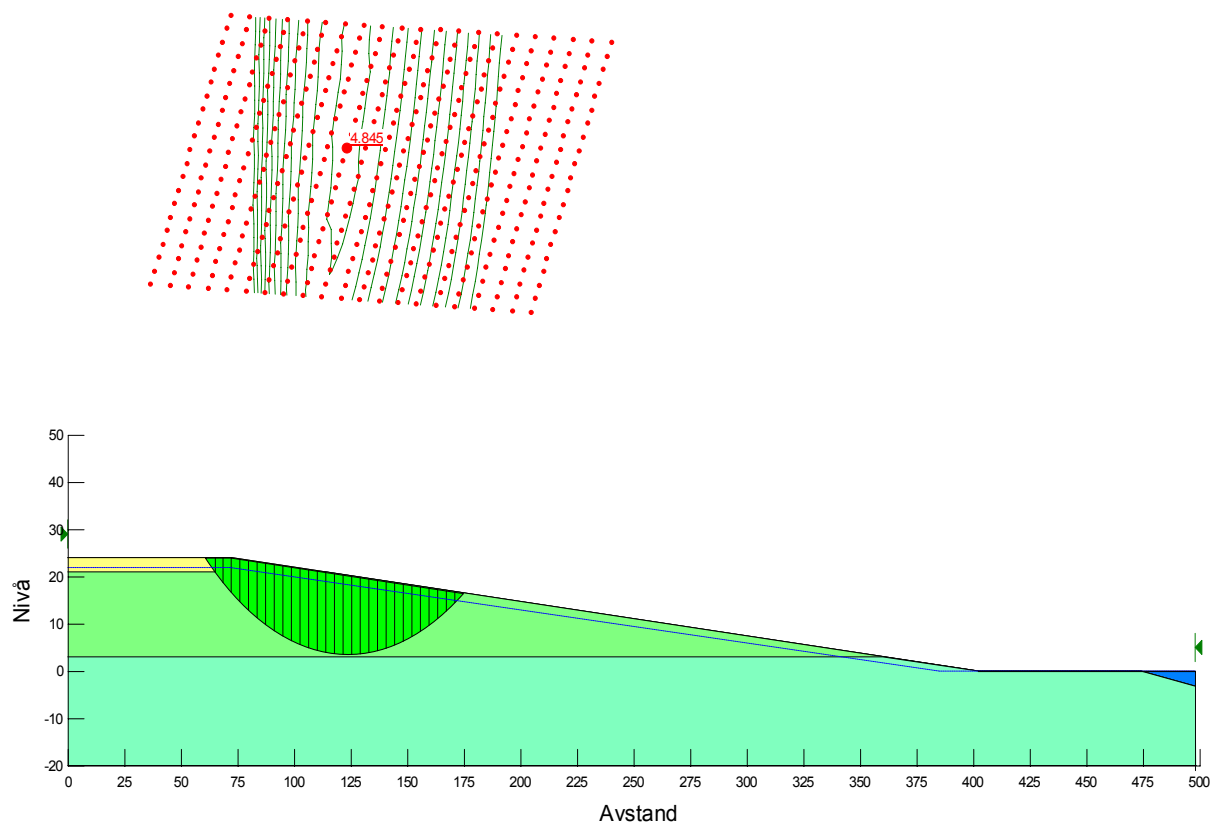
I det følgende vil det for sonene i Tabell 12, gis en endring i skråningshelning og en skjønsmessig vurdering av inngrepstørrelsen for hver enkelt sone. Ingen konkrete mengder av masse er skissert i inngrepene (forbedringene), men anslåtte sikringstiltak. I tillegg til antagelser gjort for Slope W i seksjon 3.2.1, er sprengstein antatt stabiliserende masse. Sprengstein har en egenvekt på  $19 \text{ kN/m}^3$ , og en friksjonsvinkel,  $\phi$ , på 42 (Statens vegvesen). Som nevnt i seksjon 3.2.4 er det for sonene: Imshaug, Bingen og Smedsrud, diskutert om avvikene til de 3 sonene skyldes skjønsmessig vurdering. De blir likevel tatt med i beregningen for å se på endringen i sikkerhetsfaktor, da dette er den relevante effekten. I påfølgende 9 figurer (41-49) er det beregnet endring i beregnet sikkerhetsfaktor etter inngrep.



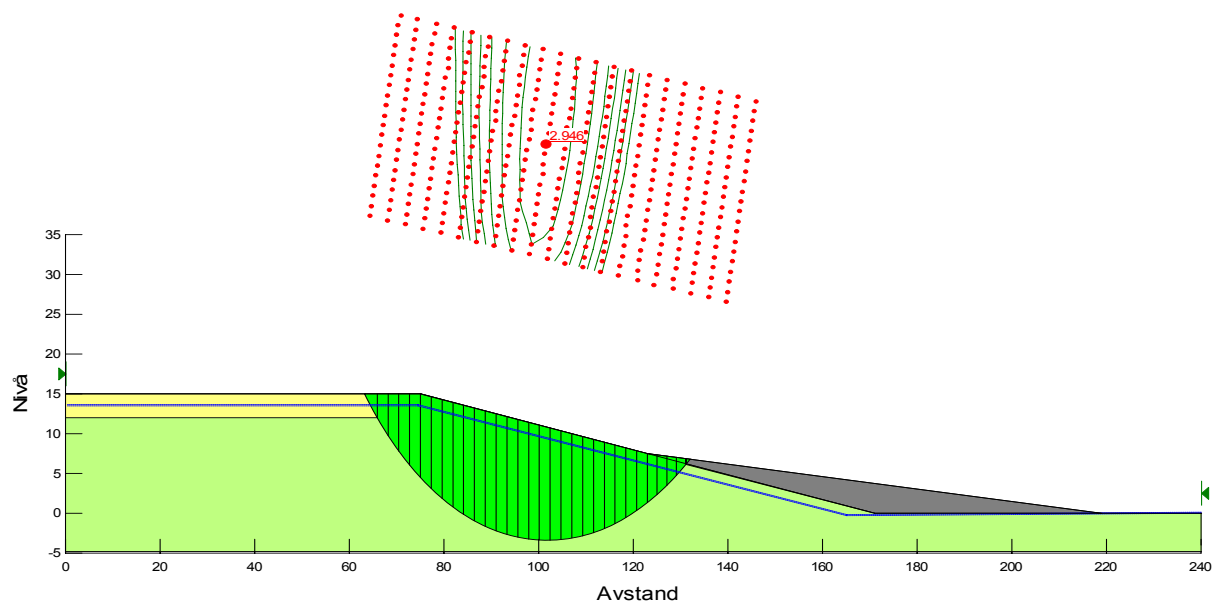
**Figur 41: Imshaug- Bekken er lagt i rør og det er bakkeplanert på delstrekning. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra  $SF=3,24$  til  $SF=3,52$ .**



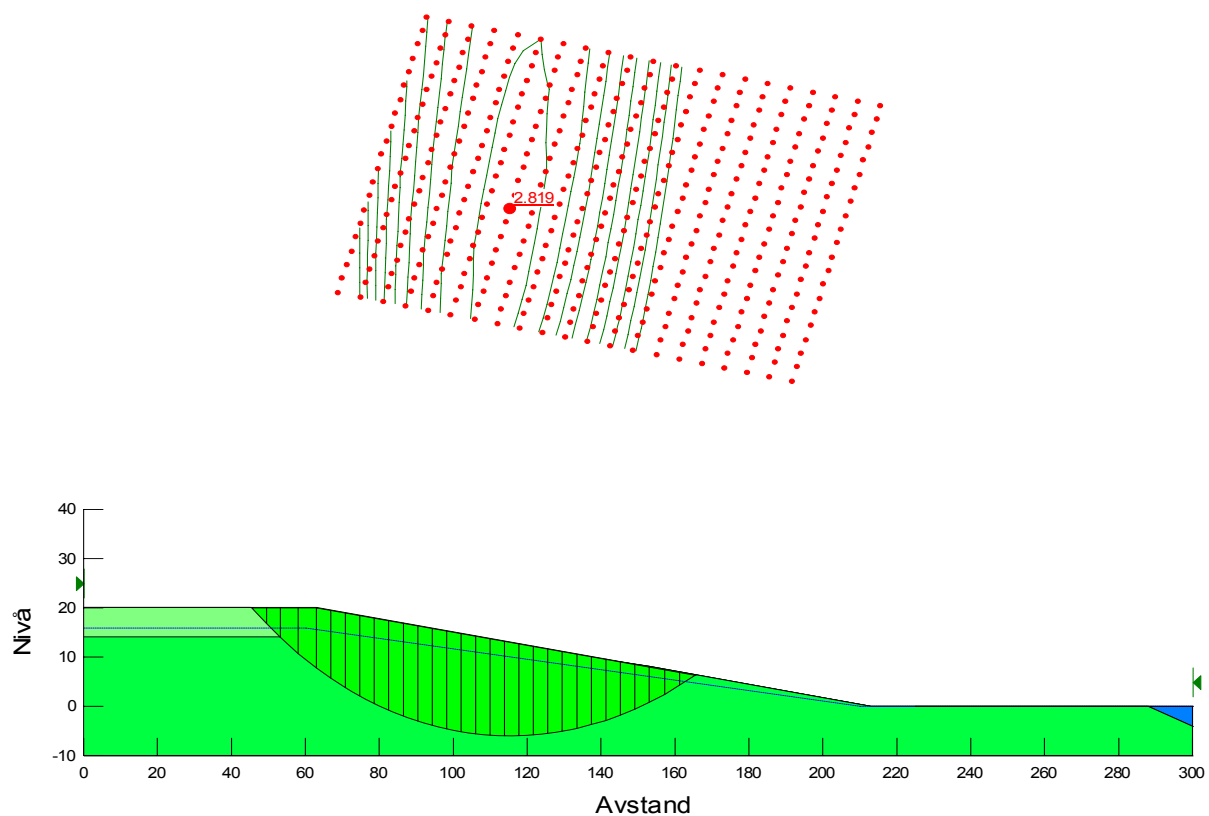
**Figur 42: Bingen- Del av hovedbekk og sidebekker er lagt i rør. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra  $SF=3,55$  til  $SF=3,70$ .**



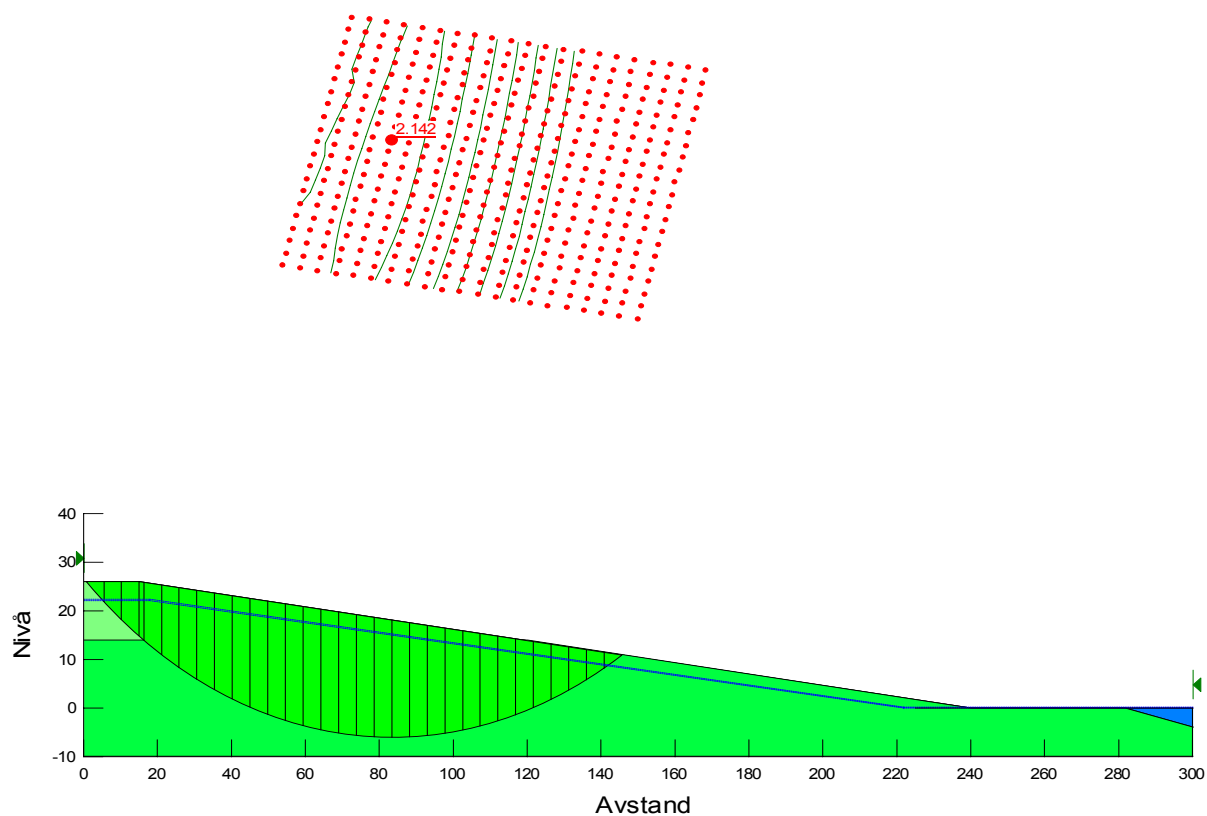
**Figur 43: Smedsud- Dyrket mark er bakkeplanert. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra  $SF=3,64$  til  $SF=4,85$ .**



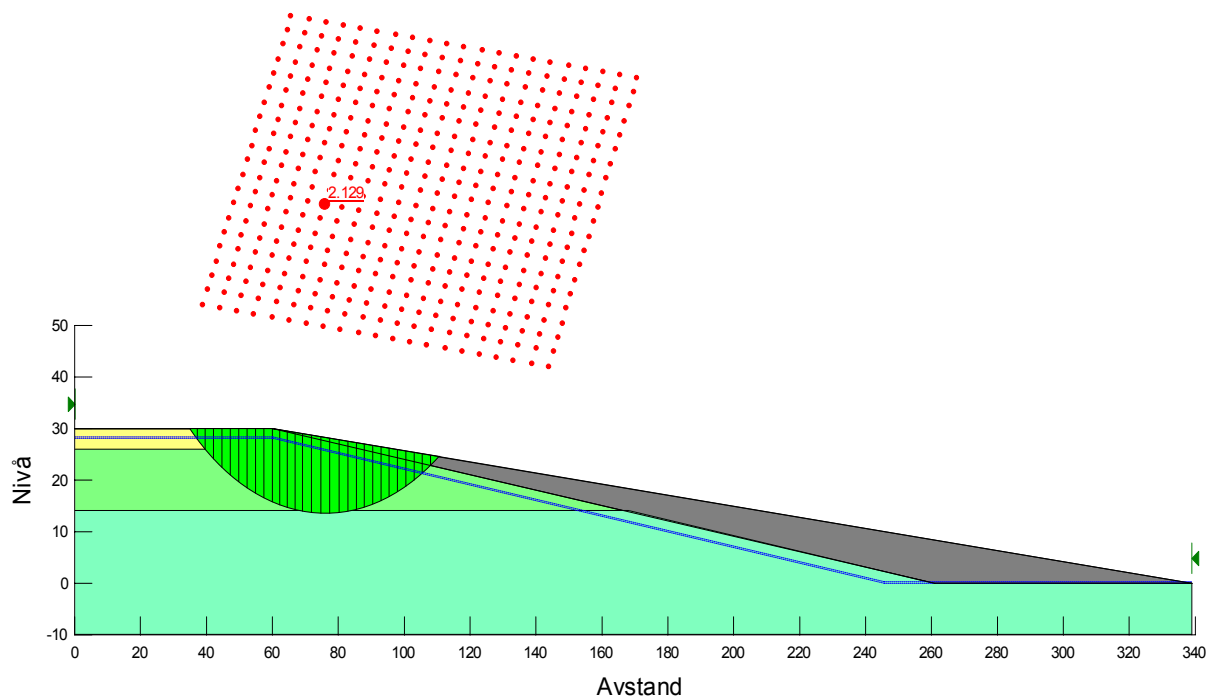
**Figur 44: Frydenlund- Ravine i nord og syd er lagt i rør. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=2,86 til SF=2,95.**



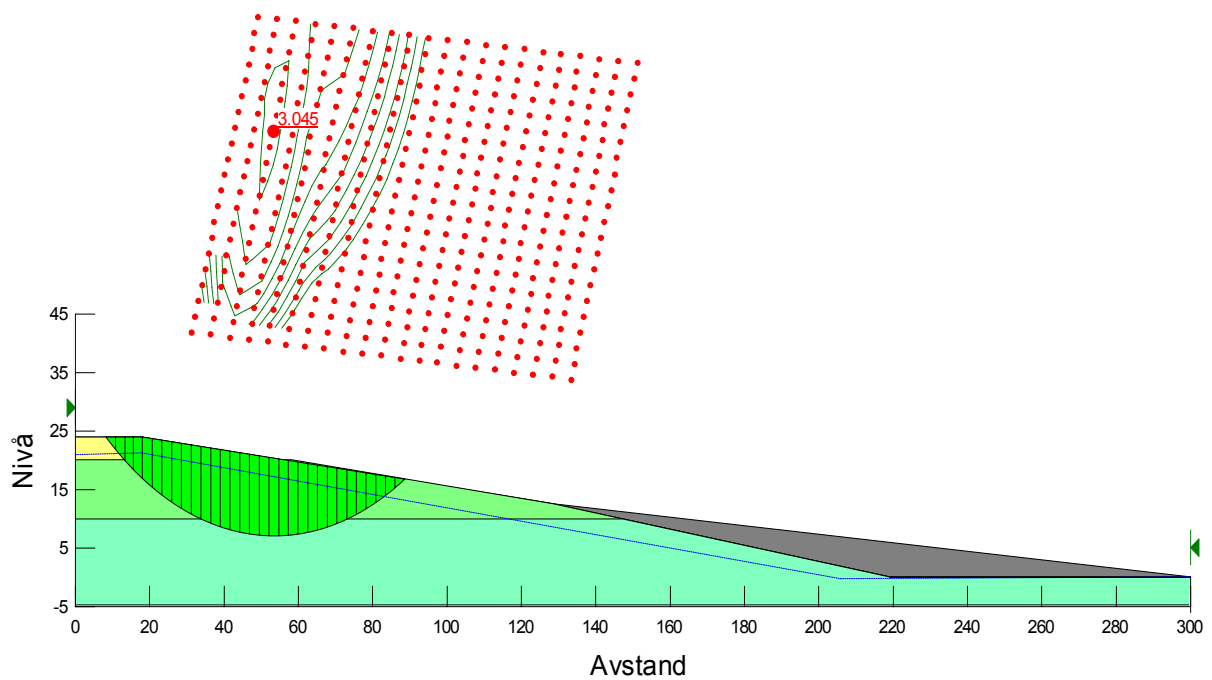
**Figur 45: Stokke nedre- Bakkeplanert mot Rømua. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=2,76 til SF=2,82.**



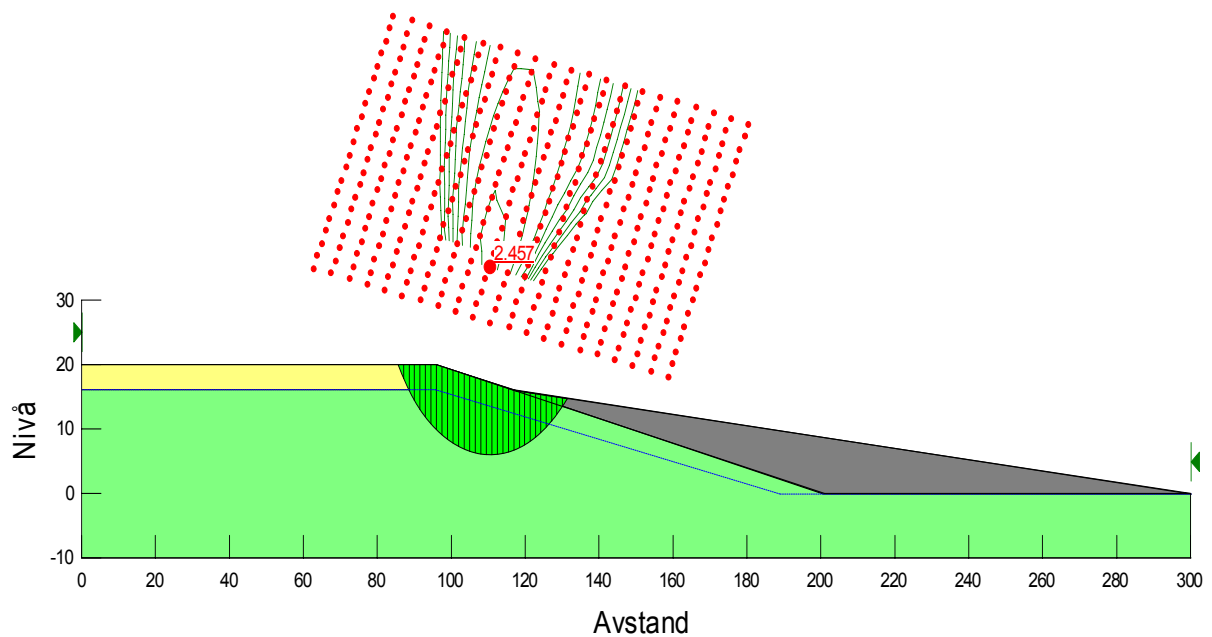
**Figur 46: Arteid- Bakkeplanert de øverste 200 meterne av Asakbekken samt hele sideravinen. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=1,82 til SF=2,14.**



**Figur 47: Krogsrud Ile- Ravinen i syd er lagt i rør og planert. Området er lagt ut til golfbane. Ravine i øst er lagt i rør og planert. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra SF=1,84 til SF=2,13.**



**Figur 48:** Hillern- Ravine i vest er lagt i rør og gjenfylt. Skråningshøyden i øst er redusert betydelig. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra  $SF=2,09$  til  $SF=3,05$ .



**Figur 49:** Borgen- Bekk er lagt i rør og ravinen er oppfylt. Inngrepene har gitt en endring i sikkerhetsfaktoren fra  $SF=1,91$  til  $SF=2,46$ .

I Slope W kan man definere en stabiliserende motvekt og dermed beregne sikkerhetsfaktoren, men da må man vite nok om egenskapene til massen som er ment for å stabilisere skråningen. Av mangel på gode referanser til utførte sikringstiltak er det som nevnt gitt et anslått sikringstiltak. Dette kan avvike en del fra virkeligheten og er derfor en feilkilde det må tas hensyn til ved videre tolkning.



Som det fremgår av de 9 foregående figurene (41-49) øker sikkerhetsfaktoren der det er utført inngrep. Det vil være naturlig å anta at større inngrep vil gi større endring i sikkerhetsfaktoren, og dermed størst endring for sonene: Krogsrud Ile, Hillern og Borgen. Det er imidlertid for Smedsrud at endringen er størst. Se Tabell 13. Dette har trolig sammenheng med det antatte morenelaget, som også er hovedårsaken til den høye beregnede sikkerhetsfaktoren for *før inngrep*. Hillern og Borgen, der det er gjort en stor forbedring, er de sonene der endringen i beregnet sikkerhetsfaktor er størst om man ser bort fra Smedsrud. For Krogsrud Ile, hvor det også er gjort store forbedringer, blir det derimot en lav endring i sikkerhetsfaktoren, selv om det er gjort store forbedringer i dette området. Årsaken til dette er noe uvisst, men enten er anslaget på inngrepsforbedringen for stort eller så er størrelsen på sikringstiltak, antatt i Slope W, for lite. Ved bruk av korrekte sikringstiltak og riktig anslag i inngrepsforbedringen vil denne feilkilden kunne reduseres.

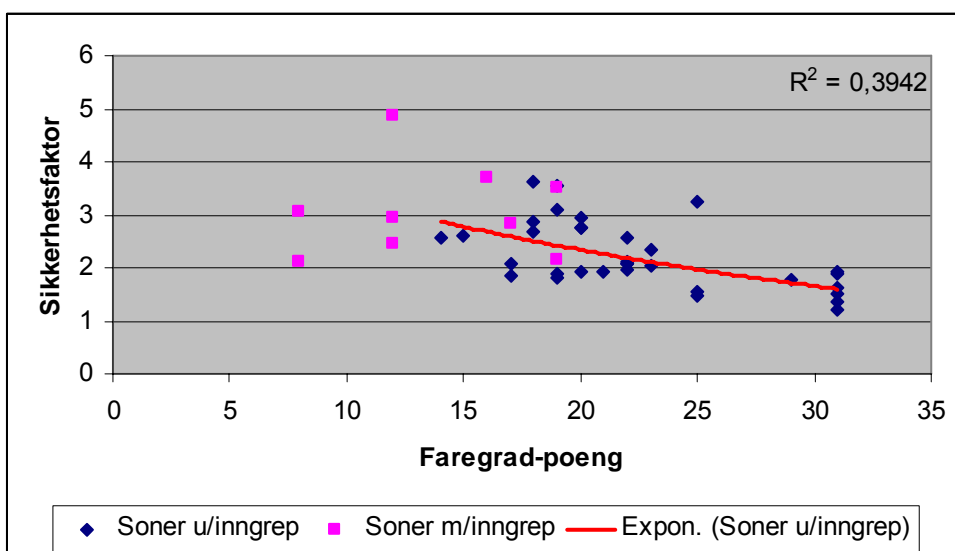
For de 5 øvrige sonene er det generelt mindre endringer i sikkerhetsfaktoren. Dette er naturlig da det ikke er utført like store inngrep i disse sonene. Også her må det tas forbehold om nevnte feilkilder.

Supplerende undersøkelser viser ofte at forholdene er mindre ugunstige enn først antatt og resultatet av undersøkelsene kan bli at en sone utgår, begrenses i størrelse eller får en lavere faregradsklassifisering (Gregersen, 2005).

Sone-id	Sonenavn	SF før inngrep	SF etter inngrep	SF-endring etter inngrep
1	Imshaug	3,24	3,52	0,28
2	Bingen	3,55	3,70	0,15
5	Smedsrud	3,64	4,85	1,21
12	Frydenlund	2,86	2,95	0,09
18	Stokke nedre	2,76	2,82	0,06
27	Arteid	1,82	2,14	0,32
29	Krogsrud Ile	1,84	2,13	0,29
30	Hillern	2,09	3,05	0,96
43	Borgen	1,91	2,46	0,58

**Tabell 13: Beregnet sikkerhetsfaktor før og etter inngrep.**

På grunnlag av feilkildene for sonene i Tabell 13 vil det være vanskelig å fastslå en sammenheng ved beregnet korrelasjon mellom beregnet sikkerhetsfaktor og Faregrad-poeng, etter at inngrep er tatt med i betraktningen for endring i sikkerhetsfaktoren. Det vil likevel være av interesse å se om det er noen korrelasjon mellom disse 9 sonene, og de 24 sonene der inngrep ikke er utført. Denne sammenheng er vist i Figur 50.



**Figur 50: Korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor kalkulert i Geoslope W og Faregrad-poeng anslått etter kvikkleireklassifiseringen. Inkludert er kun soner der det er gjort borer. Rød strek er gitt av regresjonsanalyse og er en pekepinn på hvor korrelasjonen ligger. Regresjonsanalyse viser at korrelasjonen har faktor,  $R^2 \approx 0,39$  ved en antagelse om en logaritmisk sammenheng (Soner u/inngrep). For de resterende 9 punktene er det er gjort borer og utført inngrep. Se Tabell 2.**

Som det fremgår av Figur 50 er det et stykke fra eksakt korrelasjon mellom sikkerhetsfaktor og Faregrad-poeng. For sonene der inngrep er utført og det er beregnet ny sikkerhetsfaktor ser man en kraftig ”scatter”. Reduserer man feilkilder nevnt tidligere i teksten vil korrelasjonen sannsynligvis øke. Om korrelasjonen mellom sikkerhetsfaktor og Faregrad-poeng har en logaritmisk eller en lineær fordeling er noe uklart, men ved flere undersøkte soner og mer utfyllende geotekniske vurderinger vil man trolig finne en løsning på dette problemet.

I de senere år er det utført mange sikringstiltak langs norske vassdrag og bl.a. Namsen i Nord-Trøndelag er et bevis for at tiltak nytter.

Etter at det på 1950- og 60-tallet skjedde en rekke skred og utglidninger med omfattende skader langs Namsen, gjennomførte NVE i samarbeid med de berørte kommunene omfattende sikringstiltak for å stabilisere elva mot skred og erosjon. Det har ikke skjedd skred og utglidninger av betydning etter disse sikringstiltakene.

### 3.2.6 Evaluering av gamle skred med hensyn på faregrad

Alle de gamle skredene beskrevet nedenfor, 8 totalt, er evaluert med hensyn på de faregradsfaktorer som er beskrevet tidligere i oppgaven. NGI-rapporter som omhandler skredene er brukt for å forstå og for å gjengi forholdene i grunnen før leirskredene gikk, best mulig.

For å gi en tilnærmet lik fremstilling som i dagens evaluering er det også gjort en konsekvensanalyse av de samme sonene. Også her benyttes gamle rapporter for å få klarhet i hvilken infrastruktur området hadde før skredet gikk. For mer utfyllende informasjon om de gamle skredene henvises det til rapporter nevnt i den påfølgende tekst.

Faregradsevalueringen er gitt i form av Faregrad-poeng ved å følge NGIs metodikk. Dette gjelder også for konsekvensevalueringen. Et fiktivt faresone-id og et fiktivt kommunenavn er gitt hvert skredområde for å kunne presentere disse i databasen (id 2000-2007). I den påfølgende teksten er det, for Bekkelaget, vist eksempel på hvordan fare- og konsekvensevalueringen vil se ut. Resultatene for de 8 skredene er, for sammenligning med klassifisering for Rømuavassdragets soner, vedlagt i sin helhet som Vedlegg B.

#### Skredet på Bekkelaget i Oslo 7. oktober 1953

##### Faregradsevaluering:

*Skredaktiviteten* i dette området har vært lav i nyere tid, men en rekke gamle skred er dokumentert (Eide, 1955).

*Skråningshøyden* fra bakkant av skredet, mot fjell og ned mot Oslofjorden og Ormøybukta, på i underkant av 20 meter (Eide, 1955).

*OCR: tidligere/nåværende terrengnivå:* Området er normalkonsolidert (Eide, 1955).

*Poretrykk (overtrykk/undertrykk):* Det var trolig hydrostatisk poretrykk i området da skredet gikk (Eide, 1955).

*Kvikkleiremektighet* varierer fra 6-8 meter. Under 2-2,5 meter er det observert kvikkleire i 8-10 meters dybde (Bjerrum m.fl., 1961).

*Sensitiviteten* varierer stort sett fra 40-100 (Bjerrum m.fl., 1961).

*Erosjon* er ikke observert i tiden før skredet (Eide, 1955 & Eide m.fl., 1955).

*Inngrep* i form av stor tyngde i bakkant av sonen har ført til en stor forverring av stabiliteten (Eide, 1955).

## Fareevaluering for skredsone 2000 - Bekkelaget

Faktorer	Beskrivelse	Faregrad	Score	Vekttall	Poeng
<b>Skredaktivitet</b>	Skredaktiviteten i dette området har vært lav i nyere tid, men en rekke gamle skred er dokumentert.	Lav	1	1	1
<b>Skråningshøyde</b>	Skråningshøyden fra bakkant av skredet, mot fjell og ned mot Oslofjorden og Ormøybukta, på i underkant av 20 meter.	15-20	1	2	2
<b>OCR: tidligere/nåværende terrengnivå</b>	Området er normalkonsolidert.	1,0-1,2	3	2	6
<b>Poretrykk (overtrykk/undertrykk)</b>	Mangler poremålinger, men det var trolig en del høyere poretrykk enn hydrostatisk poretrykk i området da skredet gikk.	0-10	1	3	3
<b>Kvikkleire- mektighet</b>	Kvikkleiremektingen varierer fra 6-8 meter. Under 2-2,5 meter er det observert kvikkleire i 8-10 meters dybde.	H/2-H/4	2	2	4
<b>Sensitivitet</b>	Sensitiviteten varierer stort sett fra 40-100.	30-100	2	1	2
<b>Erosjon</b>	Erosjon er ikke observert i tiden før skredet, men sprekkdannelser i jernbanefylling hadde forekommet tidligere.	Lite	1	3	3
<b>Inngrep</b>	Inngrep i form av stor tyngde i bakkant av sonen har ført til en stor forverring av stabiliteten.	Stor forverring	3	3	9
<b>Sum poeng</b>					30
<b>% av total</b>					58,82
<b>Faregradklasse høy (26 til 51 poeng)</b>					

**Tabell 14: Ferdigevaluert faregradsanalyse for skredsone Bekkelaget.**

Bekkelaget får en beregnet faregrad ”høy” basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

### Konsekvensevaluering:

*Boligheter antall* totalt i og nedenfor sonen er 8 hus (Bjerrum m.fl., 1961).

*Næringsbygg* : Bekkelaget skole ligger sør for sonen og lager ligger rett vest i utløpssonen for eventuelt skred (Bjerrum m.fl., 1961).

*Annen bebyggelse, verdi:* ingen observasjoner.

*Vei ÅDT:* Mosseveien- hovedinnfartsåre til Oslo fra sørøst. Antar ÅDT til 2-3000.

*Toglinje, baneprioritet:* Østfoldbanen. Antatt baneprioritet 1.

*Kraftnett:* Antatt distribusjonsnett.

*Oppdemming/flomfare:* Noe flomfare. Dersom et stort skred går ut vil det kunne gjøre skade i strandsonen.

## Konsekvensevaluering for skredzone 2000 - Bekkelaget

Faktorer	Beskrivelse	Konsekvens	Score	Vekttall	Poeng
<b>Boligheter, antall</b>	Totalt i og nedenfor sonen er det 8 hus.	Spredt >5	2	4	8
<b>Næringsbygg, personer</b>	Bekkelaget skole ligger sør for sonen og lager ligger rett vest i utløpssonen for eventuelt skred.	10-50	2	3	6
<b>Annen bebyggelse, verdi</b>	Ingen observasjoner.	Ingen	0	1	0
<b>Vei, ÅDT</b>	Mosseveien- hovedinnfartsåre til Oslo fra sør-øst. Antar ÅDT til 2-3000.	1000-5000	2	2	4
<b>Toglinje, baneprioritet</b>	Østfoldbanen antatt baneprioritet 1.	1-2	3	2	6
<b>Kraftnett</b>	Antatt distribusjonsnett.	Distribusjon	1	1	1
<b>Oppdemming/Flomfare</b>	Noe flomfare. Dersom et stort skred går ut vil det kunne gjøre skade i strandsonen.	Middels	2	2	4
<b>Sum poeng</b>					29
<b>% av total</b>					64,44
<b>Konsekvensklasse meget alvorlig (23 til 45 poeng)</b>					

**Tabell 15: Ferdigevaluert konsekvensanalyse for skredsonen Bekkelaget.**

Bekkelaget kommer i en beregnet konsekvensklasse ”*meget alvorlig*” basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

Av resultatene fra fare- og konsekvensevalueringen kan det lages en risikoberegning idet, risiko= faregrad x konsekvens. Som nevnt i seksjon 2.3 fremkommer tallverdien for *risiko* ved å multiplisere %-tallet for *skadekonsekvens* med %-tallet for *faregrad*.

Vi får da:  $58,82 \text{ (faregrad)} \times 64,44 \text{ (skadekonsekvens)} = 3790 \text{ (risiko)}$

Bekkelaget kommer dermed i risikoklasse 5 (3204-10000), som er den høyeste risikoklassen.

## Borgenskredet på Ullensaker 23. desember 1953

### Faregradsevaluering:

*Skredaktiviteten* på Romerike har historisk sett vært høy og over 300 skred kan sees på kvartærgeologisk kart over dette området.

*Skråningshøyden* er 12-15 meter og terrenget er slakt hellende (3,8°) (Bjerrum, 1954).

*OCR: tidligere/nåværende terrengnivå:* Grunnet konstant økning av skjærstyrken med økende dyp er det konkludert med at området var normalkonsolidert (Bjerrum, 1954).

*Poretrykk (overtrykk/undertrykk):* Det var trolig noe økt poreovertrykk før skredet gikk.

*Kvikkleiremektigheten* i sonen var på ca. 10 meter.

*Sensitiviteten* var i området 40 for store deler av sonen før skredet gikk.

*Erosjon*: Ingen observasjoner. Antar noe erosjon ved bekk.

*Inngrep*: Ingen observasjoner.

Borgenskredet får en beregnet faregrad ”høy” (26 poeng og 50,98% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området. Se Vedlegg B, sone 2001.

#### Konsekvensevaluering:

*Boligheter antall*: 1 gårdsbruk

*Næringsbygg*: Ingen observasjoner.

*Annen bebyggelse, verdi*: Ingen observasjoner.

*Vei ÅDT*: Ingen observasjoner.

*Toglinje, baneprioritet*: Ingen observasjoner.

*Kraftnett*: Antatt distribusjonsnett.

*Oppdemming/flomfare*: For lite vannføring i bekk for å skape flomfare.

Borgenskredet kommer i en beregnet konsekvensklasse ”mindre alvorlig” (5 poeng og 11,11% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

Vi får da:  $50,98 \text{ (faregrad)} \times 11,11 \text{ (skadekonsekvens)} = 566 \text{ (risiko)}$

Borgenskredet kommer dermed i risikoklasse 2 (167-628), som er den nest laveste risikoklassen.

### **Gøtaskredet ved Lilla Edet i Sverige 7. juni 1957**

#### Faregradsevaluering:

*Skredaktiviteten*: Flere små skred har gått i området historisk sett- eldre skredgroper kan sees i omkringliggende områder (Aas m.fl., 1960).

*Skråningshøyden* var i overkant av 20 meter (Bjerrum m.fl., 1960).

*OCR: tidligere/nåværende terrengnivå*: normalkonsolidert (Aas m.fl., 1960).

*Poretrykk (overtrykk/undertrykk):* Det avhenger helt av området, men i hovedsak var det hydrostatisk poretrykk (Bjerrum m.fl., 1960).

*Kvikkleiremektigheten* er observert til 5-10 meter (Aas m.fl., 1960).

*Sensitiviteten* er utfra en rekke målinger funnet å være meget høy >100 (Aas m.fl., 1960).

*Erosjon* pågår flere steder langs Gøtaelven og det er flere nye skred i området.

*Inngrep* er ikke observert.

Gøtaskredet får en beregnet faregrad ”høy” (26 poeng og 50,98% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området. Se Velegg B, sone 2002.

#### Konsekvensevaluering:

*Boligheter antall:* Ingen observasjoner.

*Næringsbygg:* Göta sulfitsfabrik

*Annen bebyggelse, verdi:* Ingen observasjoner.

*Vei ÅDT:* Ingen observasjoner. Antar ettersom dette er et fabrikkområde, ÅDT på 500.

*Toglinje, baneprioritet:* Ingen observasjoner.

*Kraftnett:* Antatt distribusjonsnett.

*Oppdemming/flomfare:* Liten mulighet for oppdemming, antar liten konsekvens.

Gøtaskredet kommer i en beregnet konsekvensklasse ”alvorlig” (14 poeng og 31,11% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

Vi får da:  $50,98 \text{ (faregrad)} \times 31,11 \text{ (skadekonsekvens)} = 1586 \text{ (risiko)}$

Gøtaskredet kommer dermed i risikoklasse 3 (629-1905), som er middels risikoklasse.

### **Furreskredet i Namdalen 14. april 1959**

#### Faregradsevaluering:

*Skredaktiviteten* anses som høy da det har gått over 150 skred i Namdalen (Hutchinson m.fl., 1962).

*Skråningshøyden* fra elveslette opp på platå er 15-20 meter (platå på 20 over havet). Nederste platå er 6-7 m over havet (Hutchinson m.fl., 1962).

*OCR: tidligere/nåværende terrengnivå:* Området er normalkonsolidert (Bjerrum, m.fl., 1960).

*Poretrykk (overtrykk/undertrykk):* I tiden før skredet stod vannet i brønner 1 m over vanlig vannstand. Antatt noe poreovertrykk i forhold til hydrostatisk poretrykk (Bjerrum, m.fl., 1960).

*Kvikkleiremektigheten* var kun 5-10 cm i glideplanet, og skredet gled ut i det mest sensitive laget. Det ble funnet 4 tynne leirlag i sedimentene (Hutchinson m.fl., 1962).

*Sensitiviteten* var meget høy i alle 4 lagene, >100 (Bjerrum, m.fl., 1960).

*Erosjon* fra Namsen i finsand og silt lett eroderbare avseneringer, men ingen ras på området. Et initialskred utløste bakenforliggende masser (Hutchinson m.fl., 1962).

*Inngrep* avgjørende for stabilitet er ikke observert.

Furreskredet får en beregnet faregrad ”*middels*” (25 poeng og 49,02% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området. Se Vedlegg B, sone 2003.

#### Konsekvensevaluering:

*Boligheter antall:* 2 gårder og en tomannsbolig (Hutchinson m.fl., 1962).

*Næringsbygg:* Ingen observasjoner.

*Annen bebyggelse, verdi:* Ingen observasjoner.

*Vei ÅDT:* Det går en riksvei gjennom sonen. Antar ÅDT til 500.

*Toglinje, baneprioritet:* Ingen observasjoner.

*Kraftnett:* Antatt distribusjonsnett.

*Oppdemming/flomfare:* Bred elv og ikke bebyggelse på andre siden av elva eller i nærmeste område. Antar liten flomfare.

Furreskredet kommer i en beregnet konsekvensklasse ”*alvorlig*” (9 poeng og 20% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

Vi får da:  $49,02 \text{ (faregrad)} \times 20 \text{ (skadekonsekvens)} = 980 \text{ (risiko)}$

Furreskredet kommer dermed i risikoklasse 3 (629-1905), som er middels risikoklasse.



## Vibstadskredet i Namdalen 22. februar 1959

### Faregradsevaluering:

*Skredaktiviteten* anses som høy da det har gått over 150 skred i Namdalen (Hutchinson m.fl., 1962). Seks store og en rekke mindre skred har funnet sted på "Vibstad-landet" de siste få årtusener (Hutchinson m.fl., 1960).

*Skråningshøydene* varierer en del grunnet mange forskjellige høyder på totalt 5 elveterrasser totalt (Hutchinson m.fl., 1960). Totalt er skråningshøyden i overkant av 30 meter.

*OCR: tidligere/nåværende terrengnivå:* Området er normalkonsolidert (Bjerrum m.fl., 1960).

*Poretrykk (overtrykk/undertrykk):* Grunnvannsspeilet var trolig høyere enn vanlig da skredet gikk. Februar måned 1959 var meget fuktig og mild (Hutchinson m.fl., 1960).

*Kvikkleiremektighet* varierer en del, men i hovedsak er tykkelsen på 5-10 meter (Hutchinson m.fl., 1960).

*Sensitiviteten* er over 100 i en ca. 5 meter tykk sone (Hutchinson m.fl., 1960).

*Erosjon* fra Namsen i finsand og silt lett eroderbare avseneringer, men ingen ras på området. (Hutchinson m.fl., 1960).

*Inngrep* avgjørende for stabilitet er ikke observert.

Vibstadskredet får en beregnet faregrad "høy" (31 poeng og 60,78% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området. Se Vedlegg B, sone 2004.

### Konsekvensevaluering:

*Boligheter antall:* Ingen bebyggelse innen skredområdet (Hutchinson m.fl., 1960).

*Næringsbygg:* Ingen bygg observert.

*Annen bebyggelse, verdi:* Ingen observasjoner.

*Vei ÅDT:* Ingen observasjoner.

*Toglinje, baneprioritet:* Ingen observasjoner.

*Kraftnett:* Ingen observasjoner.

*Oppdemming/flomfare:* Bred elv og ikke bebyggelse på andre siden av elva eller i nærmeste område. Antar liten flomfare.

Vibstadskredet kommer i en beregnet konsekvensklasse "mindre alvorlig" (2 poeng og 4,44% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

Vi får da:  $60,78 \text{ (faregrad)} \times 4,44 \text{ (skadekonsekvens)} = 270 \text{ (risiko)}$

Vibstadskredet kommer dermed i risikoklasse 2 (167-628), som er den nest laveste risikoklassen.

### **Skredet ved Ihlang gård i Nes på Romerike 9. september 1965**

#### Faregradsevaluering:

*Skredaktiviteten* på Romerike har historisk sett vært høy og over 300 skred kan sees på kvartærgeologisk kart over dette området.

*Skråningshøyden* var opp mot 30 meter. Gjennomsnittlig helning var 1:3,7, eller vel 15° (Bjerrum m.fl., 1966).

*OCR: tidligere/nåværende terrengnivå:* Antatt normalkonsolidert.

*Poretrykk (overtrykk/undertrykk):* Målinger i dalsider viser en hydrostatisk trykkfordeling med dybden. (Bjerrum m.fl., 1966).

*Kvikkleiremektighet* er på omkring en meters tykkelse i 17-18 meters dybde. Det er imidlertid 35-40 meter tykke leiravsetninger (Bjerrum m.fl., 1966).

*Sensitiviteten* varierer fra 20-120 i nevnte lag.

*Erosjon* i bratt skråning ned mot bekk har ført til en stadig forverring av stabilitetsforholdene. Antar noe erosjon i dette området.

*Inngrep* er ikke observert.

Ihlangskredet får en beregnet faregrad ”høy” (28 poeng og 54,9% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området. Se Vedlegg B, sone 2005.

#### Konsekvensevaluering:

*Boligheter antall:* 1 gårdsbruk (Bjerrum m.fl., 1966).

*Næringsbygg:* Ingen observasjoner.

*Annen bebyggelse, verdi:* Ingen observasjoner.

*Vei ÅDT:* Privat vei.

*Toglinje, baneprioritet:* Ingen observasjoner.

*Kraftnett:* Antatt lokalt kraftnett.

*Oppdemming/flomfare:* Ikke nok vannføring i bekk til å skape flomdannelse.

Ihlangskredet kommer i en beregnet konsekvensklasse ”*mindre alvorlig*” (4 poeng og 8,89% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

Vi får da:  $54,9 \text{ (faregrad)} \times 8,89 \text{ (skadekonsekvens)} = 488 \text{ (risiko)}$

Ihlangskredet kommer dermed i risikoklasse 2 (167-628), som er den nest laveste risikoklassen.

### **Trøgstadskredet i Østfold 29. oktober 1967**

#### Faregradsevaluering:

*Skredaktiviteten* i denne delen av Østfold har historisk sett vært høy.

*Skråningshøyden* var ca. 25 meter fra platå til bekkedalene (Bjerrum m.fl., 1968).

*OCR: tidligere/nåværende terrengnivå:* Antar normalkonsolidert.

*Poretrykk (overtrykk/undertrykk):* Hydrostatisk poretrykk i området (Bjerrum m.fl., 1968).

*Kvikkleiremekktigheten* varierer fra ca. 12 meters dybde til fjell 21-24 meter under terreng (Bjerrum m.fl., 1968).

*Sensitiviteten* er høy i nevnt intervall. Antar 30-100.

*Erosjon* i bratt skråning ned mot bekk har ført til en stadig forverring av stabilitetsforholdene. Antar noe erosjon i dette området.

*Inngrep* er ikke observert.

Trøgstadskredet får en beregnet faregrad ”*middels*” (25 poeng og 49,02% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området. Se Vedlegg B, sone 2006.

#### Konsekvensevaluering:

*Boligheter antall:* Det er antatt ca. 10 bolighus i nærheten av

*Næringsbygg:* Bussgarasje for Trøgstad buss-selskap.

*Annen bebyggelse, verdi:* Ingen observasjoner.

*Vei ÅDT:* Riksvei, antatt ÅDT til 1000.

*Toglinje, baneprioritet:* Ingen observasjoner.

*Kraftnett*: Antatt distribusjonsnett.

*Oppdemming/flomfare*: Ikke nok vannføring i bekk for å skape flomdannelse.

Trøgstadskredet kommer i en beregnet konsekvensklasse ”*alvorlig*” (19 poeng og 42,22% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

Vi får da:  $49,02 \text{ (faregrad)} \times 42,22 \text{ (skadekonsekvens)} = 2070 \text{ (risiko)}$

Trøgstadskredet kommer dermed i risikoklasse 4 (1906-3203), som er den nest høyeste risikoklassen.

### **Båstadskredet i Trøgstad 5. desember 1974**

#### Faregradsevaluering:

*Skredaktiviteten* i denne delen av Østfold har historisk sett vært høy.

*Skråningshøyden* er på det meste 28 meter fra platå til bekk. Opprinnelig synes skråningene å ha hatt en gjennomsnittlig helning over større partier på ca. 1:4, og lokalt helt oppe i 1:2,5 (Aas m.fl., 1974).

*OCR: tidligere/nåværende terrengnivå*: Antatt normalkonsolidert.

*Poretrykk (overtrykk/undertrykk)*: Det var mye nedbør i tidsrommet før skredet inntraff, og en større del av toppmassene kan ha vært vannfylt (Aas m.fl., 1974).

*Kvikkleiremektighet* er i overkant av 10 meter.

*Sensitiviteten*: Antatt til å være i intervallet 30-100.

*Erosjon og ras i skråning* etter at området var bakkeplanert (Aas m.fl., 1974).

*Inngrep* i form av bakkeplanering, ble utført sommeren året før skredet gikk. Den ene halvpart av den utraste skråning fikk en helning på 1:6. og platået ble trukket 20-40 meter innover.

Ved utplanering av andre halvpart halvannet år etter inntraff skredet (Aas m.fl., 1974).

Båstadskredet får en beregnet faregrad ”*høy*” (37 poeng og 72,55% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området. Se Vedlegg B, sone 2007.

### Konsekvensevaluering:

*Boligheter antall:* 2 gårdsbruk.

*Næringsbygg :* Ingen observasjoner.

*Annen bebyggelse, verdi:* Ingen observasjoner.

*Vei ÅDT:* Ingen observasjoner.

*Toglinje, baneprioritet:* Ingen observasjoner.

*Kraftnett:* Antatt distribusjonsnett.

*Oppdemming/flomfare:* Ikke nok vannføring i bekk til å skape flomdannelse.

Båstadskredet kommer i en beregnet konsekvensklasse ”*mindre alvorlig*” (5 poeng og 11,11% av total) basert på den informasjon som er samlet inn ved klassifisering av dette området.

Vi får da:  $72,55 \text{ (faregrad)} \times 11,11 \text{ (skadekonsekvens)} = 806 \text{ (risiko)}$

Båstadskredet kommer dermed i risikoklasse 3 (629-1905), som er middels risikoklasse.

Fra Vedlegg B ser man at alle skredene er klassifisert med høy faregrad ved å følge NGIs metodikk. 6 av de 8 områdene kommer innenfor faregradklasse ”*høy*” (over 26 poeng), mens 2 områder kommer innenfor faregradklasse ”*middels*”. Fureskredet og Trøgstadskredet fikk imidlertid høyeste poengsum (25) i faregradklasse ”*middels*”.

Årsakene til at disse sonene ikke kom i faregradklasse ”*høy*” kan være mange. For Fureskredet kan en medvirkende årsak være de tynne kvikkleirelagene, mens for Trøgstadskredet er årsaken noe mer uklar. Det er antatt noe erosjon i bratt skråning ned mot bekk, men dersom erosjonen har vært stor vil *Erosjon* få høyere score. Erosjonen vil dermed økes til *Aktiv/glidning* i skjemaet og faregradspoengene økes.

Fra evalueringene som er gjort kan det hevdes at alle disse områdene ville under dagens omstendigheter vært bedømt som potensielt skredfarlige områder. Supplerende undersøkelser ville blitt iverksatt i disse områdene for å utrede faregraden.

Totalt sett gir dette tillit til at NGIs metodikk er et nyttig mål på skråningsstabilitet.

## Kapittel 4. Konklusjon og anbefalinger

Risikoanalyser har vist seg å være et viktig og godt redskap for å kunne anvende ressurser på riktige områder. Flere stabilitetsanalyser av sonene, som NGI har klassifisert, vil være viktig for å få en mer presis utforming på det som bør gjøres i en valgt sone. NGIs risikoklassifisering innehar etter grundig gjennomgang trolig de viktigste faktorene som bør være med i en risikoevaluering. Ved å sammenstille faren for skred med konsekvenser ved skred tas det hensyn til menneskelige aktiviteter i de berørte sonene, men om dette hensynet er vektlagt nok kan diskuteres.

I en sone der faregraden er høy kan 4 bolighus ende opp i konsekvensklasse ”*mindre alvorlig*”, dersom det ikke er annen viktig infrastruktur. Et skred kan få alvorlige følger for bolighusene og for å bøte på dette problemet bør det gjøres endring av vektleggingen til menneskelig tilstedeværelse i konsekvensevalueringen. I motsetning til faktoren *antall boligenheter* i konsekvensevalueringen, gir fordeling med *boligekvivalenter* høyere score for menneskelige aktiviteter. Dette bør utredes nærmere og dersom nødvendig endres.

I konsekvensevalueringen må det også tas hensyn til utløpsdistansen til et skred og eventuelt den direkte flombølgen som dannes ved skred i vann og elver.

På en sone med flere bratte skråninger vil den skråningen som er mest kritisk for skred være avgjørende for faregraden. Stabilitetsanalyser bør utføres og de beregningsmessige sikkerhetsfaktorene vil i all sannsynlighet variere mellom skråningene.

Det har vært ønskelig å finne en sammenheng mellom vurdert faregrad for en sone og den beregnede sikkerhetsfaktoren for den samme sonen. I oppgaven har det blitt utprøvd en sammenstilling av dette forholdet og resultater tyder på at det tilsynelatende er en korrelasjon. Statistisk sett vil det være ukorrekt å konkludere med at det er god korrelasjon ettersom antallet observasjoner er forholdsvis lavt og variansen,  $R^2$ , er omkring 0,4.

Om korrelasjonsfordelingen i sammenstillingen mellom faregrad og beregnet sikkerhetsfaktor er lineær eller logaritmisk er vanskelig å bestemme grunnet få evaluerte soner. Variansen er imidlertid gjennomgående høyere for logaritmisk korrelasjonsfordeling i alle eksempler. Dersom det tas med flere soner i sammenstillingen og det er tilgang på gode geotekniske data, vil sannsynligvis en mer pålitelig korrelasjonsfordeling tre frem.

Det har videre vært av interesse å få klarhet i om stabiliserende sikringstiltak har en effekt på faregrad og beregningsmessig sikkerhetsfaktor.

Endringen i sikkerhetsfaktoren ved et inngrep, forbedring eller forverring, vil trolig gjenspeiles i faregraden. I Rømuavassdraget er det utført forbedrende inngrep på 9 soner, og alle disse sonene får en høyere sikkerhetsfaktor etter inngrepet.

Fra resultater i Slope W er det en tilsynelatende sammenheng mellom størrelse på inngrepet og endring i sikkerhetsfaktoren.

Fra Trøndelag og Namsen har skredhyppigheten gått kraftig ned etter at forbedringer var utført.

En siste utfordring har vært å klassifisere 8 gamle godt dokumenterte skred, for å få klarhet i om disse områdene ville blitt klassifisert som risikoområder med hensyn på dagens faregradsevaluering.

6 av de 8 områdene kommer i faregradsklasse ”*høy*”, mens 2 skred får høyeste score i faregradsklasse ”*middels*”. Kun skredet på Bekkelaget og Trøgstadskredet kommer i de høyeste risikoklassene (4 og 5). For de 6 andre skredene var konsekvensene i konsekvensevalueringene den begrensende faktoren.

NGIs metodikk fungerer for øvrig meget tilfredstillende og de fleste aspekter ved kvikkleireproblematikk er vurdert ved denne metoden.

## Referanser

Aas, G., Eide, O., Bjerrum, L., 1960. "Stabilitetsforholdene ved Lilla Edets Pappersbruk." Norges Geotekniske Institutt, O.778-3, 24 s.

Aas, G., Høeg, K., 1974. "Leirskredet ved Lunder og Vestby i Båstad i Trøgstad den 5.12.1974." Norges Geotekniske Institutt, Rapport 74074-1, 7 s.

Aas, G., 1979. "Kvikkleireskred. Norske sivilingeniørers forening. Skredfare og arealplanlegging; vurdering av faregrad og sikringstiltak." Kurs på Lofthus, 1979.

Aas, G., 1989. "Stabilitetsberegninger for fundamenter, fyllinger, skjæringer og naturlige skråninger på/i leire." Intern veiledning nr. 02, Norges Geotekniske Institutt.

Bjerrum, L., 1954. "Stability of natural slopes in quick clay." Norges Geotekniske Institutt, F.32, 25 s.

Bjerrum, L., 1955. "Norske marine leirers geotekniske egenskaper." Norges Geotekniske Institutt. Publikasjon nr. 7.

Bjerrum, L., Hutchinson, J. N., Eide, O., 1960. "Jordskredet ved Furre i Namdalen 14. april 1959." Norges Geotekniske Institutt, F.169-2, 90 s.

Bjerrum, L., Jørstad, F., 1960. "Grunnvannsobservasjoner ved Lilla Edets Pappersbruk." Norges Geotekniske Institutt, O.778-2, 14 s.

Bjerrum, L., Aas, G., 1961. "Stabilitetsberegninger for en del skandinaviske flaktypeskred i kvikkleire." Norges Geotekniske Institutt, intern rapport, F. 32.

Bjerrum, L., Aas, G., Kjærnsli, B., 1968. "Vurdering av stabilitetsforholdene for Trøgstad buss-selskaps garasje etter skredet 29. oktober 1967." Norges Geotekniske Institutt, F.343, 5 s.

Bjerrum, L., Aas, G., Eide, O., 1966. "Vurdering av stabilitetsforholdene for ny tomt på gården Ihlang, Vormsund." Norges Geotekniske Institutt, 65/69, 10 s.



Bjerrum, L., Løken, T., Heiberg, S., Foster, R., 1969. "A field study of factors responsible for quick clay slides." Norges Geotekniske Institutt, 1971, Publikasjon nr. 85.

Brenner, R. P., Brand, E. W., 1981. "Soft clay engineering." Elsevier.

Eide, O., 1953. "Skredet ved Bekkelaget i Oslo, 7. oktober 1953." Norges Geotekniske Institutt, 1953, Publikasjon nr. 11.

Eide, O., Bjerrum, L., 1955. "The slide at Bekkelaget." Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon nr. 11, 17 s.

Eide, O., 1955. "Skredet ved Bekkelaget i Oslo, 7. oktober 1953." Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon nr. 11, 17 s.

Foster, R. H., Heiberg, S., 1971. "Erosion studies in a marine clay deposit at Romerike, Norway." Norges Geotekniske Institutt, 1971, Publikasjon nr. 88.

Gjelseth, G., 1999. "Forsker på gyngende grunn." Universitetsavisa nr.19, 1999.

Gran, E., 2004. "Når fast grunn blir suppe." Gemini, forskningsnytt fra NTNU og SINTEF, nr.1, 2004.

Gregersen, O., 1990a. "Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred." Ullensaker, 860019-1, NGI-rapport.

Gregersen, O., 1990b. "Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred." Borerresultater, Ullensaker, 860019-2, NGI-rapport.

Gregersen, O., 1995a. "Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred." Fet, 900010-1, NGI-rapport.

Gregersen, O., 1995b. "Kartlegging av områder med potensiell fare for kvikkleireskred." Borerresultater, Fet, 900010-2, NGI-rapport.

Gregersen, O., 2002. "Vurdering av risiko for skred." Klassifisering av faresoner, kvikkleire, 2001008-1, NGI-rapport.

Gregersen, O., 2005. "Program for økt sikkerhet mot leirskred." Evaluering av risiko for kvikkleireskred. 20001008-10, NGI-rapport.

Holmsen, G., 1930. "Grundvandet i vore leravsætninger." Norges Geotekniske Institutt, 135, Oslo, 92 s.

Holtedahl, O. 1924. "Studier over isrand-terrassene syd for de store østlandske sjøer." Vid. Selsk. Skr. 1. Mat.-naturv. Kl. 1924, nr. 14., 110 s.

Hutchinson, J. N., Bjerrum, L., Eide, O., 1962. "Jordskredet ved Vibstad i Namdalen 22. februar 1959." Norges Geotekniske Institutt, Oppdrag F. 169-3, 66 s.

Hutchinson, J. N., Bjerrum, L., 1962. "Skredet ved Furre 14. april 1959." Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon nr. 49, 30 s.

Janbu, N., Nestvold, J., Røe, Ø. og Sveian, H., 1993. "Geologi - geoteknikk. Leirras – årsaksforhold og rasutvikling", I: Walberg, Ø. 1993: Verdalsboka, Ras i Verdal, bind B. Verdal kommune.

Jensen, T. G., Gregersen, O., 2004. "Leirskred, skredmekanismer og farevurdering." Presentert i Byggforskserien, planløsning 311.145, sending 1.

Jørstad, F. A., 1968. "Et 200-års minne om Skeafallet og om skred, erosjon og denudasjon i Sørumsund." Norges Geotekniske Institutt. Intern rapport, F. 377, 7 s.

Lefebvre, G., 1996. "Soft sensitive clays." Landslides- investigations and mitigation, special report 247.

Longva, O., Østmo, S. R., 1986. "Ullensaker 1915 II, kvartærgeologisk kart, M 1:50000." Norges Geologiske Undersøkelse.

- Longva, O., 1987. "Ullensaker 1915 II, Beskrivelse av kvartærgeologisk kart –M 1: 50000." Norges Geologiske Undersøkelse, skrifter 76.
- Longva, O., 1991. "Fet 1914 I, kvartærgeologisk kart, M 1:50000." Norges Geologiske Undersøkelse.
- Løken, T., 1967. "Kvikkleiredannelse og kjemisk forvitring i norske leirer." Norges Geotekniske Institutt, 1968, Publikasjon nr. 75.
- Løken, T., Jørstad, F.A., Heiberg, S., 1970. "Gamle leirskred på Romerike." Romerikes historielags årbok, bind 7.
- Løken, T., Gvein, Ø., Østmo, S. R., 1980. "Geologien i Nes." I: Horgen m.fl. 1980: Naturgrunnlaget. Nes på Romerike, bind 6, Bygdebok, 8-59.
- Løken, T., 1983. "Kvikkleire og skredfare, - hvor og hvorfor?" Forskningsnytt. Årgang 28, nr. 3.
- NGF, 1974. Norsk Geoteknisk Forening. Konferanse.
- Rankka, K., 2003. "Kvicklera –bildning och egenskaper –Litteraturstudie." Sveriges Geotekniska Institut, Rapport nr. 526.
- Rankka, K., Andersson-Sköld, Y., Hultén, C., Larsson, R., Leroux, V., Dahlin, T., 2004. "Quick clay in Sweden." Sveriges Geotekniska Institut, Rapport nr. 65.
- Rosenquist, I. Th., 1953. "Investigations in the clay-electrolyte-water-system." Norges Geotekniske Institutt, Publikasjon nr.9, 125 s.
- Rosenquist, I. Th., 1954. "Besiktigelse av skred på eiendommen Ihlangshaugen, Næs." Norges Geotekniske Institutt, Intern rapport, F.32.
- Rosenquist, I. Th., 1960. "Marine clays and quick clay slides in South and Central Norway." Norges Geologiske Undersøkelse. 212q, 13-17.

Skrednett: Nasjonal skreddatabase på Internett. Portal for informasjon om skred i Norge.

[www.skrednett.no](http://www.skrednett.no)

Statens vegvesen, 1992. "Geoteknikk i veibygging." Nr. 016 i vegvesenets håndbokserie, 2. utgave, 555 s.

Stigler, B., Ahlberg, P., Fredèn, C., Olofsson, S., Sjöstedt, S., 1990. "Ras och skred i Sverige." Ingenjörvetenskapsakademien, Skredkommisionen, 27 s.

Sveian, H., Janbu, N., Nestvold, J., Røe, Ø., Skjelstad, L., 2002. "Leirras, sett fra en geologisk og geoteknisk synsvinkel. I: Husbyn, G., Skjelstad, L., 2002. "Bygda og raset. Leirras i Skjelstadmark og Hegra." Hegra historielag. ISBN: 82-996380-3-8.

Vibe, J., 1897. "Topografisk- historisk- statistisk beskrivelse over Akershus amt." Norges land og folk, bind 2. Nordli forlag, 334 s.